

УДК 550.4:553.496(234.835)

DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-269-292

## Элементы-примеси в минералах некоторых редко встречающихся пород Южного Урала

© 2019 г. В. Г. Кориневский, К. А. Филиппова, В. А. Котляров, Е. В. Кориневский, Д. А. Артемьев

Институт минералогии УрО РАН, Ильменский заповедник, г. Миасс, 456317, Россия, e-mail: vgkor@mineralogy.ru

Поступила в редакцию 02.02.2018 г., принята к печати 19.04.2018 г.

*Объект исследований.* Приведены данные 75 анализов широкого спектра минералов (амфиболов, пироксенов, гранатов, шпинелей, оливинов, анортитов, эпидотов, корундов, апатитов, клинохлора, доломита, кальцита, циркона) из магматических и метаморфических пород Южного Урала, а также сведения о содержании в них рассеянных элементов, в том числе редкоземельных. Данные о микроэлементном составе некоторых минералов приведены впервые (хёгбомит, сапфирин, цоизит, клиноцоизит, жедрит, куммингтонит, антофиллит, калиймагнезиогастингсит). *Материалы и методы.* Особое внимание уделено горным породам, весьма необычным для Урала по степени “свежести”, слагающим включения-глыбы в пластинах и линзах серпентинитового меланжа среди метаморфических толщ (кристаллосланцев, гнейсов и амфиболитов). Для них характерны сохранность первичных структур, относительная химическая однородность, присутствие поверхностей одновременного роста между большинством минералов. Предпочтение отдано минералам из пород, состав которых изучен относительно слабо (пироксен-амфиболовые анортитовые габбро и габбро-амфиболиты, скаполитовые породы, горнблендиты, жедрит-куммингтонит-антофиллитовые кристаллосланцы и амфиболиты, “безрудные” карбонатиты). Приведены географические координаты всех точек отбора минералов. Состав минералов определен на сканирующем микроскопе РЭММА-202 М с энергодисперсионной приставкой и на масс-спектрометре Agilent 7700х (методы ICP-MS, LA-ICP-MS). *Результаты.* Дана краткая петрографическая характеристика пород, из которых отобраны минералы. Обращает на себя внимание очень большой разброс в содержании элементов-примесей внутри родственных видов минералов (амфиболов, гранатов, пироксенов, оливинов, эпидотов, шпинелей, слюды и др.). Эти колебания не зависят от типа щелочности вмещающих пород, их геологической природы. *Выводы.* Впервые выявлена весьма существенная роль цоизита и клиноцоизита в концентрации элементов-примесей, в том числе и РЗЭ. Не подтвердилась роль апатита как одного из главных минералов-концентраторов РЗЭ не только в основных и ультраосновных породах, но и в некоторых кальцит-доломитовых карбонатитах.

**Ключевые слова:** элементы-примеси, минералы, магматические и метаморфические породы, Ильменогорский комплекс, Южный Урал

## Trace-elements in minerals from unusual rocks of the Southern Urals

Victor G. Korinevsky, Kseniya A. Filippova, Vasily A. Kotlyarov, Eugeny V. Korinevsky, Dmitry A. Artemyev

Institute of Mineralogy UB RAS, Ilmeny Nature Reserve, Miass 456317, Russia, e-mail: vgkor@mineralogy.ru

Received 02.02.2018, accepted 19.04.2018

*Research subject.* This articles presents the data obtained in the course of 75 analytical studies on a wide range of minerals (amphiboles, pyroxenes, garnets, spinels, olivines, anorthites, corundums, epidotes, apatites, clinocllore, dolomite, calcite, zircon) contained in igneous and metamorphic Southern Urals rocks. In addition, information is provided about the content of trace elements, including rare earth (REE) ones, in these rocks. The data on the content of trace elements in some minerals are presented for the first time (höegbomite, sapphirine, zoisite, clinozoisite, gedrite, cummingtonite, anthophyllite, potassium-magnesiostastingsite). *Materials and methods.* A petrographic analysis of rocks containing the minerals under study was carried out. A particular attention was paid to petrographic analysis of rocks containing the minerals under study was carried out. A particular attention was paid to “fresh” rocks, containing the mineral under study which rarely occur in the Urals. These rocks feature inclusions of serpentinite melange in the form of plates and lenses among the metamorphic strata (schists, gneisses, and amphibolites) and are characterized by the preservation of primary structures, relative chemical homogeneity, as well as the presence of simultaneous growth surfaces between most minerals. Of particular research interest were minerals from rocks, the composition of which had been relatively poorly studied (pyroxene-amphibole anorthite gabbro and gabbro-amphibolites, scapolite rocks, hornblende, gedrite-cummingtonite-anthophyllitic crystallo-schists and amphibolites, ore-less carbonatites). The composition of mineral samples was determined using a scanning

**Для цитирования:** Кориневский В.Г., Филиппова К.А., Котляров В.А., Кориневский Е.В., Артемьев Д.А. (2019) Элементы-примеси в минералах некоторых редко встречающихся пород Южного Урала. *Литосфера*, 19(2), 269-292. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-269-292

**For citation:** Korinevsky V.G., Filippova K.A., Kotlyarov V.A., Korinevsky E.V., Artemiev D.A. (2019) Trace-elements in minerals from unusual rocks of the Southern Urals. *Litosfera*, 19(2), 269-292. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-269-292

microscope REMMA-202 M equipped with an energy dispersive console and a mass-spectrometer Agilent 7700x (ICP-MS and LA-ICP-MS methods). *Results.* Petrographic characteristics of the rocks containing the minerals under study are given. The geographical coordinates of locations, where mineral sampling was performed, are provided. The content of trace elements is shown to vary greatly within related species of minerals (amphiboles, garnets, pyroxenes, olivines, epidotes, spinels, mica, etc.), with the fluctuations being independent of the alkalinity of host rocks or their geological nature. *Conclusions.* For the first time, a significant role of zoisite and clinozoisite in the process of concentrating trace elements, including REE, has been revealed. The role of apatite as one of the main mineral concentrators of REE has not been confirmed either in the main and ultrabasic rocks, or in some calcite-dolomite carbonatites.

**Keywords:** trace elements, minerals, igneous and metamorphic rocks, the Southern Urals

## ВВЕДЕНИЕ

Внедрение метода ICP-MS для определения количества рассеянных (в том числе и редкоземельных) элементов в горных породах и минералах дало петрологам новый эффективный инструмент для выяснения происхождения пород, выявления их генетических связей и формационной принадлежности. Такие исследования широко представлены за рубежом. В России это нашло отражение в трудах по петрологии, прежде всего магматических пород [Соболев, 1965; Балашов, 1976; Интерпретация..., 2001; Леснов, 2007], в том числе и Урала [Семенов и др., 1980; Ферштатер, Беа, 1996; Пушкарев, Ферштатер, 1996; Салихов, Бабуров, 1999; Ферштатер и др., 2004; Ронкин и др., 2008; Готтман, Пушкарев, 2009; Банева и др., 2009; Косарев, 2012; Ферштатер и др., 2012; Русин и др., 2012; Ферштатер, 2013; Готтман, 2014; и др.]. Этим методом успешно пользуются исследователи метаморфических [Кориневский, Баженова, 2004; Скублов, 2005; Медведева, 2010], рудоносных [Масленников и др., 2014] и осадочных [Маслов, 2005, 2017; Маслов и др., 2005; Сначев и др., 2006; Шатров, Войцеховский, 2009] формаций, а также в оценке экологических обстановок [Удачин и др., 2014], в геоархеологических исследованиях [Зайков и др., 2016].

Естественно, эти работы должны основываться на количестве и характере распределения рассеянных элементов, в первую очередь в минералах горных пород. К сожалению, такие исследования в России проведены в незначительных масштабах [Скублов, 2005; Леснов, 2007], что особенно видно на примере Урала. Причина сложившегося положения заключается как в относительно небольшом сроке использования метода ICP-MS в научных организациях Урала (около 10 лет), так и в трудоемком процессе отбора чистых монофракций минералов из, как правило, мелкозернистых горных пород и в ослаблении изучения порообразующих минералов в целом. Подобные работы проведены на незначительном количестве минералов, преимущественно цирконов [Краснобаев, 1986; Аникина и др., 2012; Ферштатер и др., 2012], гранатов, амфиболов, клинопироксенов, биотитов, апатитов [Баженов и др., 1980; Другова, Скублов, 2004; Леснов и др., 2007; Медведева, 2010], полевых шпатов [Ефимов и др., 1989; Леснов и др.,

2007], извлеченных из метаморфических пород, габбро, габбро-амфиболитов, гранитов, сиенитов, некоторых минералов из пегматитов, карбонатитов [Ерохин и др., 2007; Недосекова, Мурзин, 2007; Колонин и др., 2007; Nedosekova et al., 2013] и кварцевых жил [Репина, Юзеева, 2005].

Читателю предлагаются данные по минералам из нескольких видов редких горных пород Южного Урала, ранее не охарактеризованных. Сделана попытка сопоставить распределение рассеянных элементов в однотипных минералах из различных пород, в которых выявлены значительные различия по содержанию рассеянных элементов, не известные ранее в опубликованных сводках [Скублов, 2005; Леснов, 2007]. В таком большом объеме материалы по элементам-примесям в минералах в литературе по Уралу отсутствуют. Надеемся, что они позволят более корректно рассматривать результаты геохимических исследований горных пород.

## ПОДГОТОВКА МАТЕРИАЛА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для минералого-геохимических исследований использовались монофракции минералов горных пород, отобранные В.Г. Кориневским. В большинстве случаев для отбора бралась дробленая и промытая фракция 0.3–0.5 мм. Отбор монофракций минералов из горных пород затруднен в связи с их мелкозернистостью, наличием сростков с другими минералами, нередко присутствием еще более мелких разнообразных минеральных включений. Чистота проб контролировалась по петрографическим шлифам и аншлифам, иногда в иммерсионных жидкостях. Наиболее благоприятными для отбора оказались породы из глыб в серпентинитовом меланже благодаря их относительной свежести, отсутствию заметной химической зональности в минералах. Диагностика минералов производилась по оптическим свойствам, по данным микрозондового химического анализа и рентгенограмм, во многих случаях применялись мессбауэровская и рамановская спектроскопия.

Состав минералов определялся В.А. Котляровым на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой LZ-5 Link Systems с Si-Li-детектором при ускоряющем напряжении 20–30 кВ и диаметре пучка

1–2 мкм. Коррекция данных производилась с помощью программы Magallanes. В качестве стандартов применялись эталоны с шашки AST JMEX Scientific Limited MJNM 25-53, Mineral Mount series No. 01-044 и минералы известного состава.

Кислотное вскрытие монофракций минералов выполнялось в микроволновой системе разложения SpeedWave (Berghoff, Германия) в автоклавах из фторопласта при двуступенчатом нагреве до температуры 180°C в течение 40 мин смесью кислот HF, HCl и HNO<sub>3</sub>. Для метрологического контроля качества анализа использовался международный стандарт базальта BCR-2. Калибровку прибора выполняли с использованием стандартных мультиэлементных растворов фирмы Agilent для всей шкалы масс анализируемых элементов. Анализ подготовленных растворов выполнен К.А. Филипповой методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent 7700х. Для некоторых проб минералов (помечены в таблицах\*\*) элементы-примеси определялись Д.А. Артемьевым методом лазерной абляции с индуктивно-связанной плазмой (LA-ICP-MS) на масс-спектрометре Agilent 7700х с программным комплексом MassHunter и лазерной приставкой New Wave Research UP-213. Для градуировки и расчета использовались международные стандарты стекол NIST SRM-612, USGS BCR-2G. Расчет проводился в программе Iolite с использованием <sup>43</sup>Ca в качестве внутреннего стандарта. Определение видового состава амфиболов произведено согласно рекомендациям [Hawthorne et al., 2012] в компьютерной программе [Locock, 2014]. Буквенные обозначения минералов на фотографиях и таблицах даны в соответствии с рекомендациями [Whitney, Evans, 2010].

#### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

В основу предлагаемой статьи легли материалы по минералогии ряда горных пород, изучавшихся в пределах Ильмено-Вишневогорской зоны Южного Урала [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2006, 2007], весьма необычных для Урала по степени “свежести”, слагающих включения-глыбы в пластинах и линзах серпентинитового меланжа среди метаморфических толщ (кристаллосланцев, гнейсов и амфиболитов). Для них характерны сохранность первичных структур, относительная химическая однородность, присутствие поверхностей одновременного роста между большинством породообразующих минералов, слабое развитие или полное отсутствие вторичных преобразований в изученных породах, отсутствие следов замещения одних минералов другими и “теней” структур и минералов из предполагавшихся протолитов. В итоге сделан вывод о магматической природе пород из включений в серпентинитовом меланже [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2007, 2013]. Привле-

чены также данные по составу минералов из других известных или редких геологических объектов (габбро-амфиболиты Кемпирсайского массива, кристаллосланцы и амфиболиты с 4-амфиболовой ассоциацией кыштымской толщи Ильменогорского комплекса, гранат-биотит-ставролитовые кристаллосланцы с оз. Кундравы).

На данном этапе исследования были отобраны минералы из возможно более широкого спектра разнообразных магматических пород, частично из метаморфических, в целях сравнения распределения рассеянных элементов в однотипных минералах разных породных групп различного происхождения, а также для создания банка этих данных. В большинстве случаев минералы извлекались из разновидностей пород, наименее подверженных вторичным изменениям. Особое внимание уделено минералам из пород Урала, состав которых изучен относительно слабо (пироксен-амфиболовые анортитовые габбро и габбро-амфиболиты, скаполитовые породы, горнблендиты, жедрит-куммингтонит-антофиллитовые кристаллосланцы и амфиболиты, “безрудные” карбонатиты).

Общей особенностью изученных магматических пород является анортитовый состав плагиоклазов, что относительно редко для Урала. Все они отличаются очень высокими содержаниями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и низкими – SiO<sub>2</sub>. Слагаемые ими глыбы в блоках серпентинитового меланжа и олистолиты в кварцито-сланцевых толщах Ильменогорского комплекса не имеют аналогов в геологическом окружении [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2006]. Более того, доказан [Русин и др., 2012] их более древний (543–662 млн лет) возраст, чем вмещающие их кварцито-сланцевые толщи (252 ± 8 млн лет [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2014]).

Среди анортитовых габбро наиболее распространены диопсид-амфиболовые, магнетит-диопсидовые, биотит-амфиболовые разновидности, в которых встречены первично-магматические эпидоты [Кориневский, 2008], а также несколько видов минералов, ранее неизвестных на Урале: гиалофан, цельзиан, калиймагнезиогастингсит, бариевый биотит и др. [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2006, 2007]. Среди них следует отметить и уникальное геденбергитовое габбро (рис. 1г). Установлена магматическая природа зерен амфибола, которые кристаллизовались одновременно с клинопироксеном, а не замещали его, как это обычно принято считать. Этим доказывается существование габброидной магмы, изначально обогащенной водой, как это и предполагается в работах Г.Б. Ферштатера с коллегами [1996, 2004]. В этой связи показательно нахождение в данной ассоциации биотит-амфиболовых и существенно амфиболовых габбро. Характерно большое разнообразие видов амфиболов в таких габбро (паргасит, калиевый паргасит,

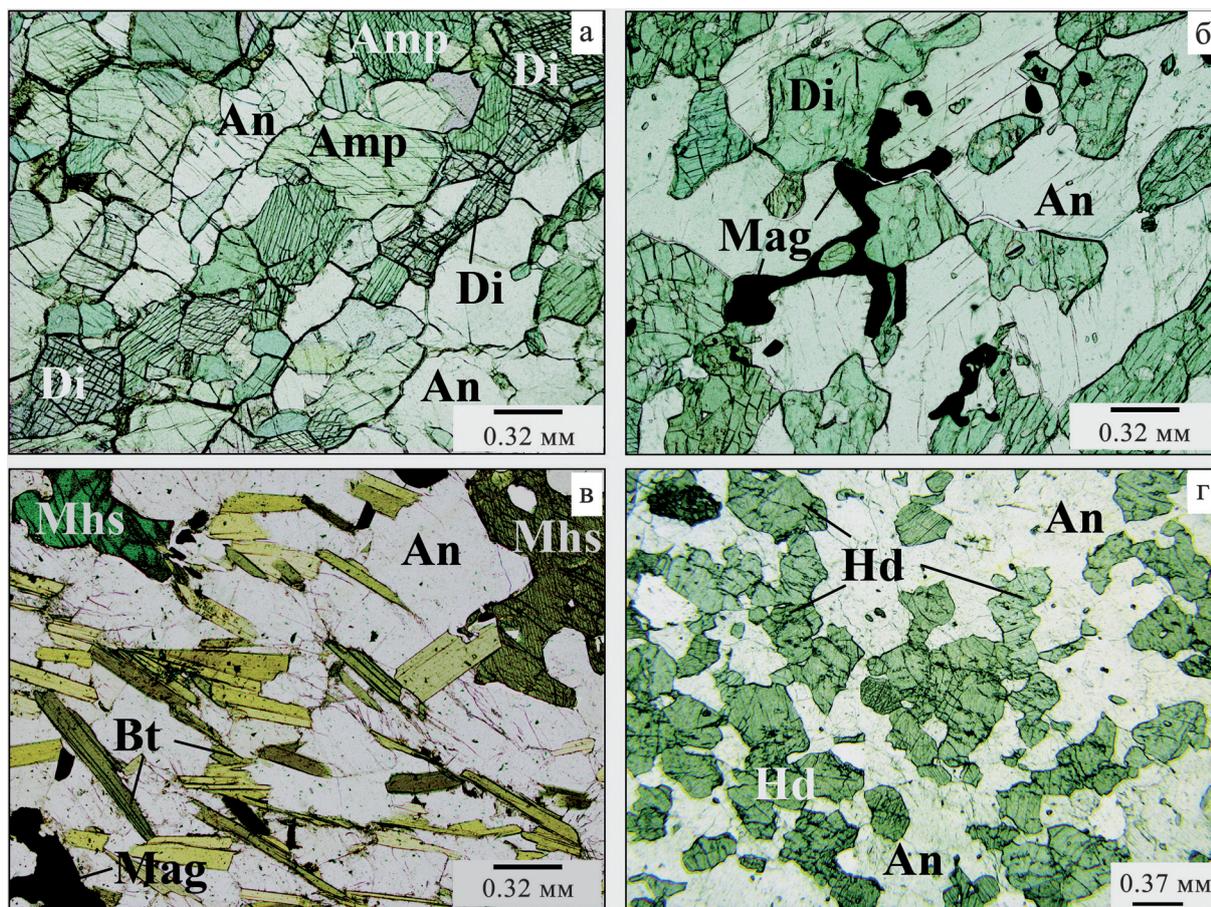


Рис. 1. Разновидности анортитовых габбро. Фото шлифов, николи параллельны.

а – диопсид-амфиболовое (проба Сд-13), б – магнетит-диопсидовое (проба 194-4), в – биотит-амфиболовое с магнетитом (проба 194-5), г – геденбергитовое (проба 173-16-3). *An* – анортит, *Amp* – амфибол, *Bt* – биотит, *Di* – диопсид, *Hd* – геденбергит, *Mag* – магнетит, *Mhs* – магнезиогастингсит. Здесь и далее пояснения к пробам – см. табл. 1.

Fig. 1. The varieties of anorthite gabbros. Photos of thin sections, nicols II.

а – diopside-amphibole (probe Сд-13), б – magnetite-diopside (probe 194-4), в – biotite-amphibole with magnetite (probe 194-5), г – hedenbergite gabbro (probe 173-16-3). *An* – anorthite, *Amp* – amphibole, *Bt* – biotite, *Di* – diopside, *Hd* – hedenbergite, *Mag* – magnetite, *Mhs* – magnesiohastingsite. Here and after, the explanations for the samples can be found in Table 1.

ферропаргасит, калиймагнезиогастингсит и магнезиогорнбленд, табл. 1). Необычной выглядит ассоциация высококальциевого диопсида, гроссуляр-андрадита, кварца и анортита в полнокристаллической крупнозернистой породе основного состава, близкого к габбро, одной из глыб в серпентинитовом меланже (см. табл. 1, ан. 21, проба Сд-15-2) на западном побережье оз. Садок в Ильмено-Вишневогорской зоне [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2014а]. Эта порода встречена совместно с глыбами наиболее распространенных здесь диопсид-амфиболовых анортитовых габбро.

Габброиды, частично затронутые метаморфическими процессами (хлоритизации, амфиболизации), но сохранившие первоначальные магматические структуры и взаимоотношения минералов, анортитовый состав плагиоклаза, массивное или

порфировидное сложение, отнесены нами к габбро-амфиболитам. Ими сложены разобщенные глыбы в кварцито-сланцевых толщах восточного обрамления Ильменогорского комплекса. Они содержат более разнообразный набор минералов, нежели в близких к ним по химизму габбро. Появляются высококальциевые гранаты (гроссуляр-андрадиты, гроссуляр-альмандины с заметной пироповой составляющей), часто встречаются плеонаст, корунд, нередко цоизит и клиноцоизит (рис. 2). В этих породах зафиксированы разновидности с аномально большим количеством РЗЭ (до 170–850 г/т). По данным минеральных геотермобарометров, их формирование происходило в интервале давлений 8–12 кбар и температур 490–890°C [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2006], что доказывает глубинное происхождение этих пород.

Таблица 1. Представительные микрозондовые анализы минералов, мас. %

Table 1. Representative electron microprobe analyses of the minerals, wt %

Минералы	Prg				K-Prg		Fe-Prg	Ts		Mhb		
№ пробы	211-6	261-6	338-18	194-9-1	173-5-1	194-16-3	173-16-2	84-1	Kyar	149-6	Сд-13	
№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
SiO <sub>2</sub>	45.59	43.01	47.07	42.40	39.11	37.91	39.81	42.25	45.59	48.21	46.65	
TiO <sub>2</sub>	0.82	1.01	—	0.01	1.00	1.59	0.98	0.47	—	—	0.22	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.08	16.62	12.14	16.73	16.10	17.60	15.22	18.50	18.57	13.72	12.27	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	0.05	—	—	0.55	—	
FeO*	3.65	3.64	3.38	8.73	16.00	14.24	17.89	10.13	4.65	4.69	8.55	
MnO	—	0.07	0.11	0.06	0.29	0.08	0.36	0.28	—	—	0.04	
MgO	18.53	17.88	18.63	14.63	9.19	10.44	8.31	12.35	16.69	16.96	16.21	
CaO	12.10	13.01	13.13	12.49	12.37	12.59	12.26	11.73	11.40	13.34	12.17	
Na <sub>2</sub> O	2.20	2.41	2.45	2.14	1.29	1.44	1.62	1.68	1.02	0.75	1.50	
K <sub>2</sub> O	0.30	0.57	1.14	0.60	2.25	1.58	1.32	0.36	—	0.21	0.24	
Cl	—	—	—	0.29	—	0.78	—	—	—	—	—	
Сумма	96.97	98.22	98.05	98.08	97.60	98.25	97.82	97.75	97.92	98.43	97.75	
Минералы	Mhb		KMgHst	Act	Cum		Ged	Trm				
№ пробы	194-9	177-2-А	194-22	176-10	147-4-2	105-12	105-39	338	К-418			
№ п.п.	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
SiO <sub>2</sub>	46.33	50.50	37.65	55.89	55.11	55.80	45.76	58.15	55.64			
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.18	1.29	—	0.09	—	0.17	—	—			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.73	8.30	16.72	3.28	1.40	1.71	17.68	1.20	4.58			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	0.08	—	—	—	—	0.06			
FeO*	10.79	10.29	14.40	5.98	21.15	17.59	17.23	0.23	3.44			
MnO	0.24	0.03	0.31	0.14	0.55	0.78	0.29	—	0.01			
MgO	14.93	16.16	10.83	19.63	19.16	21.52	15.64	24.55	21.69			
CaO	11.99	12.51	12.30	12.39	0.86	0.80	0.54	13.16	11.94			
BaO	—	—	0.28	—	—	—	—	—	—			
Na <sub>2</sub> O	1.28	0.33	1.13	0.42	—	—	1.15	0.34	0.41			
K <sub>2</sub> O	0.42	0.25	3.01	0.26	0.05	—	0.04	0.25	0.09			
Cl	—	—	0.38	—	—	—	—	—	—			
Сумма	97.83	98.55	98.30	98.07	98.37	98.20	98.50	97.88	97.86			
Минералы	Di						Hdb	En		En		
№ пробы	Сд-15-2	Сд-9-1	337-2	337-5	194-18	54-В**	173-16-3	125-А	194-4-7	Сд-15-2	84-1	84-А
№ п.п.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO <sub>2</sub>	54.13	46.55	51.83	53.77	50.14	53.91	49.15	57.42	58.31	36.97	38.38	37.34
TiO <sub>2</sub>	—	0.24	—	—	0.35	0.08	0.09	—	—	0.52	—	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.32	8.91	1.12	1.57	3.88	—	1.87	1.19	0.60	5.89	21.89	20.93
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FeO*	3.40	5.67	11.33	5.26	10.04	1.78	20.43	6.25	5.05	21.40	22.60	19.55
MnO	0.43	0.06	1.31	0.13	0.47	—	0.37	0.15	0.02	0.88	4.92	9.80
MgO	15.19	12.88	10.62	14.90	11.75	17.98	5.16	34.54	35.35	—	5.97	3.04
CaO	25.20	24.88	23.02	23.43	22.75	24.86	22.56	0.12	0.24	33.63	5.98	8.56
Na <sub>2</sub> O	—	—	0.37	0.50	0.66	—	0.19	0.06	—	—	—	—
K <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	0.11	—	—	—	—	—
Сумма	99.67	99.19	99.60	99.56	100.04	99.73	99.93	99.73	99.57	99.29	99.74	99.41
Минералы	Grt				Spl				Hgb	Spr		
№ пробы	718-А	118-4-Б	К-289	11-1	211-6	261-6	54-Д	К-418	Сд-3-2	СП-14		
№ п.п.	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42		
SiO <sub>2</sub>	36.92	38.72	37.13	36.40	—	—	—	—	—	12.78		
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.44	—	—	—	—	—	—	5.61	—		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.84	21.08	21.08	20.08	68.29	68.77	66.36	69.41	62.59	61.90		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	0.06	—	2.78	—	0.12	—		
FeO*	27.35	20.03	33.01	35.25	9.62	9.87	8.76	8.89	14.67	4.88		
MnO	3.17	1.33	2.80	1.76	0.06	0.17	0.07	—	0.43	—		
MgO	2.71	2.70	3.40	1.81	21.27	20.57	21.35	20.74	14.95	19.46		
CaO	7.90	15.63	2.44	4.50	—	—	—	—	—	—		
Na <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
K <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
ZnO	—	—	—	—	0.13	0.17	0.24	0.53	0.03	—		
NiO	—	—	—	—	—	0.17	—	0.30	—	—		
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	—	0.11	—	—	—	—	—		
Сумма	99.14	99.93	99.86	99.80	99.30	99.38	99.56	99.87	98.40	99.02		

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

Минералы	<i>Ol</i>				<i>Ep</i>			<i>Zo</i>	<i>Czo</i>	<i>An</i>		
	№ пробы	211-6	T-20-A	T-20-A**	182**	OCM-5	K-2	337-3-2в	84-A	173-5-1	718-A	Сд-13
№ п.п.	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
SiO <sub>2</sub>	40.43	39.33	39.33	41.77	39.73	39.46	38.28	40.52	40.10	42.83	43.26	43.34
TiO <sub>2</sub>	–	0.02	0.02	–	–	0.11	0.02	–	0.10	–	–	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	0.02	0.02	–	26.34	25.74	23.51	31.96	27.52	37.25	37.25	36.28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
FeO*	11.56	10.13	10.13	8.78	7.50	8.44	11.66	1.22	5.76	0.02	–	0.14
MnO	0.61	0.13	0.13	0.13	–	–	0.12	0.01	0.15	–	–	–
MgO	47.22	50.00	50.00	49.02	0.38	0.31	0.33	0.26	0.31	–	–	–
CaO	–	0.02	0.02	–	24.39	24.07	24.22	23.95	23.62	19.32	19.27	19.83
Na <sub>2</sub> O	–	0.02	0.02	–	–	–	–	–	–	–	–	0.14
K <sub>2</sub> O	–	0.01	0.01	–	–	–	0.24	–	–	–	–	–
SrO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.47
Сумма	99.82	99.68	99.68	99.80	98.34	98.13	98.38	97.92	97.56	99.42	99.78	100.20
Минералы	<i>Scp</i>					<i>Phl</i>			<i>Bt</i>			
№ пробы	K-199-8	337-3-2в	337-3-2г	338-4	287-7	337-5	338-7	194-5	K-289			
№ п.п.	55	56	57	58	59	60	61	62	63			
SiO <sub>2</sub>	46.60	48.37	47.96	49.82	48.99	40.13	44.36	35.20	34.85			
TiO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	2.29	0.33	4.28	2.44			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.96	26.32	27.20	25.59	25.98	15.75	14.68	15.30	20.16			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
FeO*	0.59	0.13	–	0.28	0.12	10.20	–	18.23	18.15			
MnO	–	–	–	–	–	0.07	–	0.40	0.15			
MgO	–	–	–	–	–	18.43	28.51	12.05	11.01			
CaO	16.92	16.91	18.49	15.08	15.43	0.09	–	–	–			
BaO	–	–	–	–	–	–	–	1.37	–			
Na <sub>2</sub> O	3.91	4.25	2.85	4.34	4.46	–	–	–	0.36			
K <sub>2</sub> O	0.17	0.26	0.40	0.35	0.52	9.48	9.35	9.91	8.91			
SO <sub>3</sub>	2.58	2.20	1.70	0.71	0.62	–	–	–	–			
Cl	0.25	0.44	0.50	0.61	0.85	–	–	–	–			
F	–	–	–	–	–	1.43	1.35	–	–			
CO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	–	–	–	–	–	–	0.11	–			
Сумма	96.98	98.87	99.10	96.78	96.97	97.87	98.58	96.85	96.03			
Минералы	<i>Ccl</i>		<i>Crn</i>		<i>Ap</i>					<i>Dol</i>	<i>Cal</i>	<i>Zrn</i>
№ пробы	211-6	261-10	K-418	718-A	337-5	211-10	718-A	338-13**	МРМ-2**	338	338-16	Сд-3-2**
№ п.п.	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
SiO <sub>2</sub>	29.66	29.38	–	–	–	–	–	–	–	–	–	32.46
TiO <sub>2</sub>	–	–	–	0.25	–	–	–	–	–	–	–	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.70	21.10	99.87	98.73	–	–	–	–	–	–	–	–
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
FeO*	3.33	5.18	0.13	0.19	–	–	–	–	–	–	–	–
MnO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
MgO	33.43	28.58	–	–	–	–	–	–	–	20.77	0.73	–
CaO	–	–	–	–	53.11	54.49	54.93	56.57	54.54	31.79	54.81	–
SrO	–	–	–	–	–	–	0.77	–	–	–	–	–
Na <sub>2</sub> O	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
K <sub>2</sub> O	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	–	–	–	41.51	40.04	42.11	40.92	41.67	–	–	–
HfO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.04
ZrO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	66.05
F	–	–	–	–	4.57	–	0.83	3.60	4.65	–	–	–
Cl	–	–	–	–	0.20	3.02	1.36	–	–	–	–	–
Сумма	87.12	84.24	100.00	99.17	99.39	97.55	100.00	101.09	100.86	52.56	55.54	99.55

Примечание. 1–75 – анализы отдельных зерен. *Prg* – паргасит, *K-Prg* – калийпаргасит, *Fe-Prg* – ферро-паргасит, *Ts* – чермакит, *Mhb* – магнезиогорнбленд, *KMgHst* – калиймагнезиогастингсит, *Act* – актинолит, *Cum* – куммингтонит, *Ged* – жедрит, *Trm* – тремолит, *Di* – диопсид, *Hed* – геденбергит, *En* – энстатит, *Grt* – гранат, *Spl* – шпинель, *Hgb* – хёгбомит, *Spr* – сапфирин, *Ol* – оливин, *Ep* – эпидот, *Zo* – цоизит, *Czo* – клиноцоизит, *Scp* – скаполит, *An* – анортит, *Phl* – флогопит, *Bt* – биотит, *Ccl* – клинохлор, *Crn* – корунд, *Ap* – апатит, *Dol* – доломит, *Cal* – кальцит, *Zrn* – циркон.

Растровый электронный микроскоп РЭММА-202 М. Аналитик В.А. Котляров (ИМин УрО РАН). \*Суммарное содержание Fe; \*\*проба для анализа методом LA-ICP-MS; прочерк – не обнаружено; пустая ячейка – не анализировалось. Здесь и в остальных таблицах: ИГЗ – Ильменский государственный заповедник.

Пробы пород, из которых отобраны минералы для анализов:

1 – 211-6 – шпинель-оливин-клинохлоровый паргаситовый горнблендит с анортитом, апатитом, ильменитом, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 2 – 261-6 – рутил-шпинелевый паргаситовый горнблендит с апатитом и ортитом, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'45.8" N, 60°17'33.5" E; 3 – 338-18 – пегматоидный прожилок в карбонате флогопит-тремолит-паргасит-диопсидового состава, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 4 – 194-9-1 – прослой диопсид-амфибол-анортитового габбро в горнблендите, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'33.21" N, 60°15'30.35" E; 5 – 173-5\* – безгранатовый клиноцоизитовый анортитовый габбро-амфиболит, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'40.26" N, 60°17'44.16" E; 6 – 194-16-3 – амфиболовое анортитовое габбро, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'25.21" N, 60°15'29.3" E; 7 – 173-16-2 – гранатовый диопсидовый габбро-амфиболит, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°10'18.3" N, 60°15'57.7" E; 8 – 84-1\* – мелко- и среднезернистый чермакитовый гранат-цоизитовый анортитовый габбро-амфиболит с зернами плеонаста, корунда, пластинками хлорита, у западной околицы д. Уразбаево, ИГЗ, 55°11'07.48" N, 60°19'21.73" E; 9 – Куаг – скаполитизированный и хлоритизированный габбро-амфиболит Кемпирсайского массива, р. Куагаш, Актюбинская область, Казахстан; 10 – 149-6 – анортитовый габбро-амфиболит, южное окончание берега оз. Бол. Таткуль у Клюквенного болота, ИГЗ, 55°11'11.76" N, 60°16'33.85" E; 11 – Сд-13 – диопсид-амфиболовое анортитовое габбро, западное побережье оз. Садок, 55°32'37.9" N, 60°23'02.7" E; 12 – 194-9 – диопсид-анортитовый горнблендит, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'33.21" N, 60°15'30.35" E; 13 – 177-2-А – диопсид-амфибол-анортитовое габбро восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'20.71" N, 60°15'25.27" E; 14 – 194-22 – эпидот-биотит-амфибол-анортитовое габбро, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'25.03" N, 60°15'31.48" E; 15 – 176-10 – горнблендит, западный борт карьера Тайгинского графитового месторождения; 16 – 147-4-2 – куммингтонит-вермикулитовый кварцит кыштымской толщи, межозерье Ынышко–Бол. Таткуль, ИГЗ, 55°11'2.83" N, 60°18'4.10" E; 17 – 105-12 – прослой куммингтонит-чермакитового амфиболита среди кристаллосланцев кыштымской толщи, восточный берег курьи Зыряновка на оз. Бол. Миассово, копь 288, ИГЗ, 55°09'55.94" N, 60°18'6.01" E; 18 – 105-39 – гранат-биотит-жедритовый кристаллосланец кыштымской толщи, восточный берег курьи Зыряновка на оз. Бол. Миассово, копь 288, ИГЗ, 55°09'55.94" N, 60°18'6.01" E; 19 – 338 – кальцит-долломитовый карбонатит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 20 – К-418 – зональная жила тальк-корунд-шпинелевого флогопитового слюдита среди энстатитов, у восточной окраины пос. Биостанция на оз. Бол. Миассово, 55°10'42.4" N, 60°17'33.2" E; 21 – Сд-15-2 – диопсид-гранат-кварц-анортитовое габбро, западное побережье оз. Садок, 55°32'36.9" N, 60°22'58.4" E; 22 – Сд-9-1 – эпидот-гранатовый клинопироксенит, западное побережье оз. Садок, 55°32'44.6" N, 60°23'01.7" E; 23 – 337-2 – диопсид-скаполитовое габбро, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 24 – 337-5 – диопсид-apatит-скаполит-флогопитовый слюдит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 25 – 194-18 – порфириовидное эпидот-кварц-диопсид-анортитовое габбро, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'24.89" N, 60°15'24.84" E; 26 – 54-В – флогопит-графит-паргасит-шпинель-оливин-диопсидовый кальцитовый карбонатит, западный берег оз. Бол. Ишкуль, ИГЗ, 55°16'31.91" N, 60°14'45.64" E; 27 – 173-16-3 – геденбергит-анортитовое габбро, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'41.5" N, 60°17'42.2" E; 28 – 125-А – оливиновый ортопироксенит, южный берег оз. Бол. Таткуль, ИГЗ, 55°11'19.33" N, 60°17'8.81" E; 29 – 194-4-7 – энстатитовый горнблендит, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'28.9" N, 60°15'28.6" E; 30 – Сд-15-2 – диопсид-гранат-кварц-анортитовое габбро, западное побережье оз. Садок, 55°32'36.9" N, 60°22'58.4" E; 31, 32 – 84-1, 84-А – чермакитовый корунд-шпинель-гранат-цоизитовый анортитовый габбро-амфиболит у западной околицы д. Уразбаево, ИГЗ, 55°11'07.48" N, 60°19'21.73" E; 33 – 718-А – крупнозернистый ильменит-гранатовый цоизитовый анортитовый габбро-амфиболит с корундом, хлоритом, кальцитом и шпинелью у западной околицы д. Уразбаево, ИГЗ, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 34 – 118-4-Б – диопсид-гранат-анортитовый габбро-амфиболит, южное окончание берега оз. Бол. Таткуль у Клюквенного болота, ИГЗ, 55°11'3.84" N, 60°16'26.83" E; 35 – К-289 – гранат-биотит-силлиманит-кианитовый кристаллосланец кыштымской толщи, межозерье Ынышко–Бол. Миассово, копь 289, ИГЗ, 55°10'58.08" N, 60°18'22.11" E; 36 – 11-1 – гранат-биотит-ставролитовый кристаллосланец кундравинской толщи, северное побережье оз. Кундравы; 37 – 211-6 – шпинель-оливин-клинохлоровый паргаситовый горнблендит с анортитом, апатитом, ильменитом, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 38 – 261-6 – рутил-шпинелевый паргаситовый горнблендит с апатитом и ортитом, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'45.8" N, 60°17'33.5" E; 39 – 54-Д – флогопит-графит-паргасит-шпинель-оливин-диопсидовый кальцитовый карбонатит, западный берег оз. Бол. Ишкуль, ИГЗ, 55°16'31.91" N, 60°14'45.64" E; 40 – К-418 – зональная жила тальк-корунд-шпинелевого флогопитового слюдита среди энстатитов, у восточной окраины пос. Биостанция на оз. Бол. Миассово, 55°10'42.4" N, 60°17'33.2" E; 41 – Сд-3-2 – шпинель-хёгбомит-титаномангнетитовый клинопироксенит, западное побережье оз. Садок, 55°32'47.3" N, 60°23'04.6" E; 42 – Сп-14 – корунд-шпинель-сапфириновый горнблендит, в 3 км к юго-западу от пос. Тайгинка, 55°36'21.6" N, 60°27'43.3" E; 43 – 211-6 – шпинель-оливин-клинохлоровый паргаситовый горнблендит с анортитом, апатитом, ильменитом, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 44 – Т-20-А – дунит из берегового обнажения на юге оз. Бол. Таткуль, ИГЗ, 55°11'23.1" N, 60°16'31.19" E; 45 – Т-20-А – дунит из берегового обнажения на юге оз. Бол. Таткуль, ИГЗ, 55°11'23.1" N, 60°16'31.19" E; 46 – 182 – дунит, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'44.14" N, 60°17'43.01" E; 47 – ОСМ-5 – эпидот-шпинелевый клинопироксенит, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'20.78" N, 60°15'26.42" E; 48 – К-2 – эпидот-диопсид-скаполитовое габбро, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 49 – 337-3-2в – грубозернистый амфибол-диопсид-скаполитовый пегматит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 50 – 84-А – чермакитовый корунд-шпинель-гранат-цоизит-анортитовый габбро-амфиболит у западной околицы д. Уразбаево, ИГЗ, 55°11'07.48" N, 60°19'21.73" E; 51 – 173-5-1 – безгранатовый клиноцоизитовый анортитовый габбро-амфиболит, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'40.26" N, 60°17'44.16" E; 52 – 718-А – крупнозернистый ильменит-гранатовый цоизитовый анортитовый габбро-амфиболит с корундом, хлоритом, кальцитом и шпинелью у западной околицы д. Уразбаево, ИГЗ, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 53 – Сд-13 – диопсид-амфибол-анортитовое габбро, западное побережье оз. Садок, 55°32'37.9" N, 60°23'02.7" E; 54 – 118-4 – диопсид-гранат-анортитовый габбро-амфиболит, южное окончание берега оз. Бол. Таткуль у Клюквенного болота, ИГЗ, 55°11'3.84" N, 60°16'26.83" E; 55 – К-199-8 – диопсид-кварц-скаполитовый пегматит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово, копь 199, ИГЗ, 55°10'34.9" N, 60°15'12.1" E; 56 – 337-3-2в – грубозернистый амфибол-диопсид-скаполитовый пегматит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 57 – 337-3-2г – диопсид-

скаполитовое габбро, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 58 – 338-4 – диопсид-скаполит-кварцевый гранит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 59 – 287-7 – диопсид-скаполитовое габбро, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17.9" N, 60°15'57" E; 60 – 337-5 – диопсид-апатит-скаполит-флогопитовый слюдит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 61 – 338-7 – флогопит-кальцит-доломитовый карбонатит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 62 – 194-5 – эпидот-биотит-амфибол-анортитовое габбро, восточное побережье оз. Бол. Ишкуль у Осинового мыса, ИГЗ, 55°16'27.92" N, 60°15'29.73" E; 63 – К-289 – гранат-биотит-силлиманит-кианитовый кристаллосланец кыштымской толщи, межозерье Ынышко–Бол. Миассово, копь 289, ИГЗ, 55°10'58.08" N, 60°18'22.11" E; 64 – 211-6 – шпинель-оливин-клинохлоровый паргаситовый горнблендит с анортитом, апатитом, ильменитом, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 65 – 261-10 – клинохлор-вермикулитовая порода, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'45.8" N, 60°17'33.5" E; 66 – К-418 – зональная жила тальк-корунд-шпинелевого флогопитового слюдита среди энстатитов, у восточной окраины пос. Биостанция на оз. Бол. Миассово, 55°10'42.4" N, 60°17'33.2" E; 67 – 718-А – крупнозернистый ильменит-гранатовый цоизитовый анортитовый габбро-амфиболит с корундом, хлоритом, кальцитом и шпинелью у западной околицы д. Уразбаево, ИГЗ, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 68 – 337-5 – диопсид-апатит-скаполитфлогопитовый слюдит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 69 – 211-10 – гранат-апатит-шпинелевый горнблендит, северное подножье горы Савелькуль, ИГЗ, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 70 – 718-А – крупнозернистый ильменит-гранатовый цоизитовый анортитовый габбро-амфиболит с корундом, хлоритом, кальцитом и шпинелью у западной околицы д. Уразбаево, ИГЗ, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 71 – 338-13 – кальцитовый карбонатит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 72 – МРМ-2 – кальцитовый карбонатит, южное побережье оз. Бол. Миассово, Мраморный мыс кури Узеьной, ИГЗ, 55°08'02.4" N, 60°16'31.54" E; 73 – 338 – кальцит-доломитовый карбонатит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 74 – 338-16 – кальцитовый карбонатит, северо-западное побережье оз. Бол. Миассово у залива Зимник, копь 287, ИГЗ, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 75 – Сд-3-2 – шпинель-хётбмит-титаномagnetитовый клинопироксенит, западное побережье оз. Садок, 55°32'47.3" N, 60°23'04.6" E.

Note. 1–75 – analyses of separate grains. Abbreviations of minerals: *Prg* – pargasite, *K-Prg* – potassic-pargasite, *Fe-Prg* – ferro-pargasite, *Ts* – tschermakite, *Mhb* – magnesiohornblende, *KMgHst* – potassium-magnesiohastingsite, *Act* – actinolite, *Cum* – cummingtonite, *Ged* – gedrite, *Trm* – tremolite, *Di* – diopside, *Hdb* – hedenbergite, *En* – enstatite, *Grt* – garnet, *Spl* – spinel, *Hgb* – högbomite, *Spr* – sapphirine, *Ol* – olivine, *Ep* – epidote, *Zo* – zoisite, *Czo* – clinozoisite, *Scp* – scapolite, *An* – anorthite, *Phl* – phlogopite, *Bt* – biotite, *Ccl* – clinocllore, *Crn* – corundum, *Ap* – apatite, *Dol* – dolomite, *Cal* – calcite, *Zrn* – zircon.

Scanning electron microscope REMMA-202 M. Analyst V. A. Kotlyarov (Institute of Mineralogy UB RAS). \*Total content of Fe; \*\*probe for LA-ICP-MS analyses; dash – not detected; an empty cell – not analyzed.

Here and in other tables: ISR – Ilmenian State Reserve.

Samples of rocks from which the minerals selected for analysis:

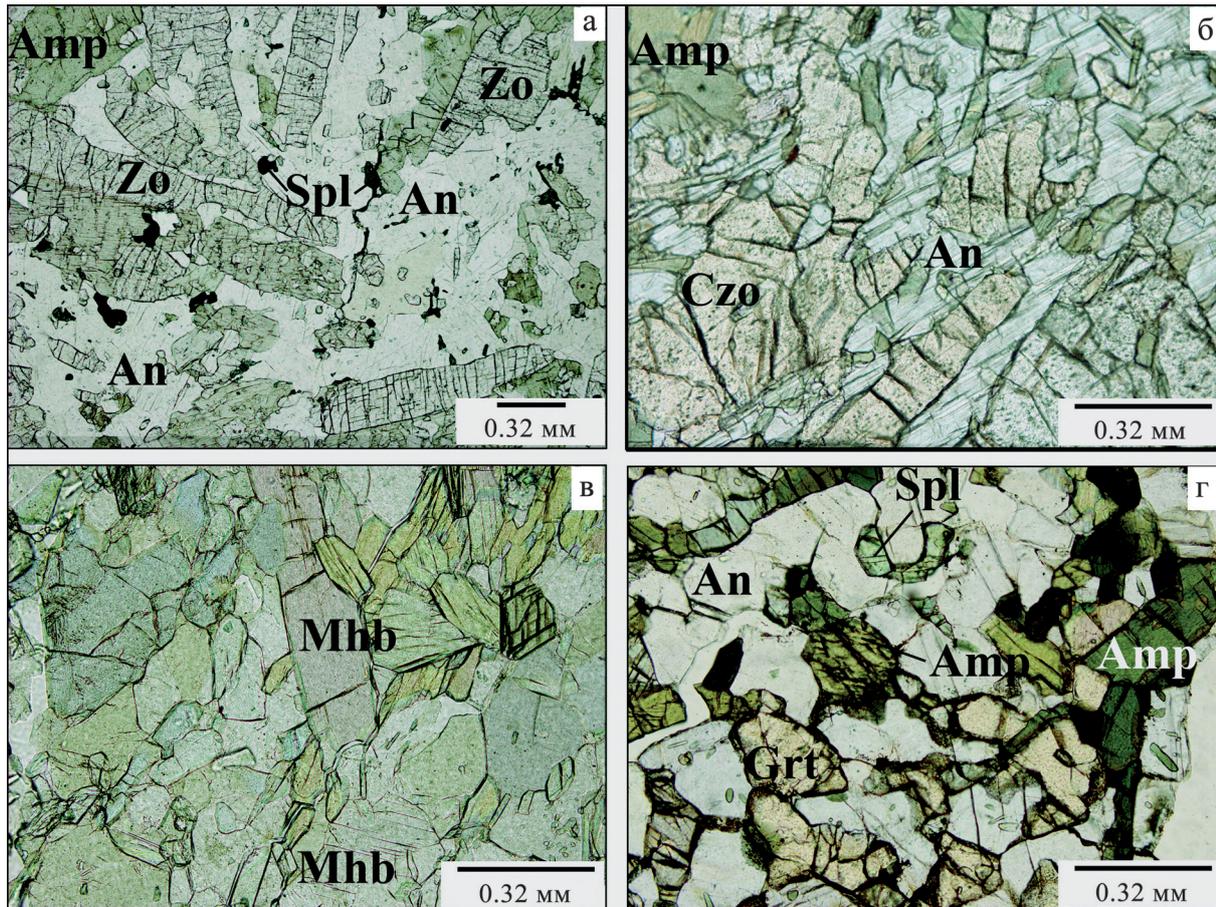
1 – 211-6 – spinel-olivine-clinocllore-pargasite hornblendite with anorthite, apatite, ilmenite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, ISR, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 2 – 261-6 – rutile-spinel pargasite hornblendite with apatite, and allanite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, ISR, 55°07'45.8" N, 60°17'33.5" E; 3 – 338-18 – pegmatoid vein in carbonatite phlogopite-tremolite-pargasite-diopside composition, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, ISR, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 4 – 194-9-1 – interbed of diopside-amphibole-anorthite gabbro in hornblendite, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, ISR, 55°16'33.21" N, 60°15'30.35" E; 5 – 173-5\* – withoutgarnet-clinozoisite-anorthite gabbro-amphibolite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, ISR, 55°07'40.26" N, 60°17'44.16" E; 6 – 194-16-3 – amphibole anorthite gabbro, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, ISR, 55°16'25.21" N, 60°15'29.3" E; 7 – 173-16-2 – garnet-diopside gabbro-amphibolite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, ISR, 55°10'18.3" N, 60°15'57.7" E; 8 – 84-1 – tschermakite-garnet-zoisite-anorthite gabbro-amphibolite with grains of pleonaste, corundum, plates of chlorite, on the Western outskirts of the village Urazbaevo, ISR, 55°11'07.48" N, 60°19'21.73" E; 9 – Kuag – gabbro-amphibolite of the Kempirsai massif, Kuagash river, Aktyubinskaya oblast, Kazakhstan; 10 – 149-6 – anorthite gabbro-amphibolite, the South end of coast of Bol. Tatkul lake near the Cranberry bog, ISR, 55°11'11.76" N, 60°16'33.85" E; 11 – Sd-13 – diopside-amphibole anorthite gabbro, the West coast of the Sadok lake, 55°32'37.9" N, 60°23'02.7" E; 12 – 194-9 – diopside-anorthite hornblendite, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, ISR, 55°16'33.21" N, 60°15'30.35" E; 13 – 177-2-A – diopside-amphibole-anorthite gabbro, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, ISR, 55°16'20.71" N, 60°15'25.27" E; 14 – 194-22 – epidote-biotite-amphibole-anorthite gabbro, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, ISR, 55°16'25.03" N, 60°15'31.48" E; 15 – 176-10 – hornblendite, the Western Board of borrow pit of the Taiginskiy graphite deposit; 16 – 147-4-2 – cummingtonite-vermiculite quartzite of the Kyshtym strata, between the lakes Inyshko–Bol. Tatkul, ISR, 55°11'2.83" N, 60°18'4.10" E; 17 – 105-12 – interbed of cummingtonite-tschermakite gabbro-amphibolite among schists of the Kyshtym strata, the Eastern shore of the Zyryanovka bay on the Bol. Miassovo lake, pit 288, ISR, 55°09'55.94" N, 60°18'6.01" E; 18 – 105-39 – garnet-biotite-gedrite schist of the Kyshtym strata, the Eastern shore of the Zyryanovka bay on the Bol. Miassovo lake, pit 288, ISR, 55°09'55.94" N, 60°18'6.01" E; 19 – 338 – calcite-dolomite carbonatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, ISR, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 20 – К-418 – zonal talc-corundum-spinel-phlogopite vein among the enstatites, near the Eastern edge of the village Biostantsiya on the Bol. Miassovo lake, 55°10'42.4" N, 60°17'33.2" E; 21 – SD-15-2 – diopside-garnet-quartz-anorthite gabbro, the West coast of the Sadok lake, 55°32'36.9" N, 60°22'58.4" E; 22 – SD-9-1 – epidote-garnet clinopyroxenite, the West coast of the Sadok lake, 55°32'44.6" N, 60°23'01.7" E; 23 – 337-2 – diopside-scapolite gabbro, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, ISR, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 24 – 337-5 – diopside-apatite-scapolite-phlogopite glimmerite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, ISR, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 25 – 194-18 – porphyritic epidote-quartz-diopside-anorthite gabbro, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, ISR, 55°16' 24.89" N, 60°15'24.84" E; 26 – 54-B – phlogopite-graphite-pargasite-spinel-olivine-diopside-calcite carbonatite, the Western shore of the Bol. Ishkul lake, IRS, 55°16'31.91" N, 60°14'45.64" E; 27 – 173-16-3 – hedenbergite-anorthite gabbro, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, ISR, 55°07'41.5" N, 60°17'42.2" E; 28 – 125-A – olivine orthopyroxenite, the South end of coast of the Bol. Tatkul lake near the Zmeinaya hill, ISR, 55°11'19.33" N, 60°17'8.81" E; 29 – 194-4-7 – enstatite hornblendite, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, ISR, 55°16'28.9" N, 60°15'28.6" E; 30 – Sd-15-2 – diopside-garnet-quartz-anorthite gabbro, the West coast of the Sadok lake, 55°32'36.9" N, 60°22'58.4" E; 31, 32 – 84-1, 84-A – tschermakite-corundum-spinel-garnet-zoisite anorthite gabbro-amphibolite, near the Western outskirts of the village Urazbaevo, ISR, 55°11'07.48" N, 60°19'21.73" E; 33 – 718-A – coarse-grained ilmenite-garnet-zoisite-anorthite gabbro-amphibolite with corundum, chlorite, calcite, and spinel, near the Western outskirts of the village Urazbaevo, ISR, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 34 – 118-4-B – diopside-garnet-anorthite gabbro-amphibolite, the

South end of coast of the Bol. Tatkul lake near the Cranberry bog, IRS, 55°11'3.84" N, 60°16'26.83" E; 35 – K-289 – garnet-biotite-sillimanite-kyanite schist of the Kyshtym strata, between the lakes Inyshko–Bol. Tatkul, pit 289, IRS, 55°10'58.08" N, 60°18'22.11" E; 36 – 11-1 – garnet-biotite-stauroilite schist of the Kundravy strata, the North coast of the Kundravy lake; 37 – 211-6 – spinel-olivine-clinocllore-pargasite hornblendite with anorthite, apatite, ilmenite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, IRS, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 38 – 261-6 – rutile-spinel-pargasite hornblendite with apatite, and allanite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, IRS, 55°07'45.8" N, 60°17'33.5" E; 39 – 54-D – phlogopite-graphite-pargasite-spinel-olivine-diopside-calcite carbonatite, the Western shore of the Bol. Ishkul lake, IRS, 55°16'31.91" N, 60°14'45.64" E; 40 – K-418 – zonal talc-corundum-spinel-phlogopite vein among enstatites, near the Eastern edge of the village Biostantsiya on the Bol. Miassovo lake, 55°10'42.4" N, 60°17'33.2" E; 41 – SD-3-2 – spinel-högbomite-titanomagnetite clinopyroxenite, the West coast of the Sadok lake, 55°32'47.3" N, 60°23'04.6" E; 42 – SP-14 – corundum-spinel-sapphirine hornblendite, 3 km South-West of the village Taiginka, 55°36'21.6" N, 60°27'43.3" E; 43 – 211-6 – spinel-olivine-clinocllore-pargasite hornblendite with anorthite, apatite, ilmenite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, IRS, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 44 – T-20-A – dunite from the South coastal outcrop of the Bol. Tatkul lake, IRS, 55°11'23.1" N, 60°16'31.19" E; 45 – 54-B – phlogopite-graphite-pargasite-spinel-olivine-diopside-calcite carbonatite, the Western shore of the Bol. Ishkul lake, IRS, 55°16'31.91" N, 60°14'45.64" E; 46 – 182 – dunite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, IRS, 55°07'44.14" N, 60°17'43.01" E; 47 – OSM-5 – epidote-spinel clinopyroxenite, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, IRS, 55°16'20.78" N, 60°15'26.42" E; 48 – K-2 – epidote-diopside-scapolite gabbro, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake, near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 49 – 337-3-2v – coarse-grained amphibole-diopside-scapolite pegmatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 50 – 84-A – tschermakite-garnet-zoisite-anorthite gabbro-amphibolite with grains of pleonaste, corundum, plates of chlorite, on the Western outskirts of the village Urazbaevo, IRS, 55°11'07.48" N, 60°19'21.73" E; 51 – 173-5-1 – withoutgarnet-clinozoisite-anorthite gabbro-amphibolite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, IRS, 55°07'40.26" N, 60°17'44.16" E; 52 – 718-A – coarse-grained ilmenite-garnet-zoisite-anorthite gabbro-amphibolite with corundum, chlorite, calcite, and spinel, near the Western outskirts of the village Urazbaevo, IRS, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 53 – SD-13 – diopside-amphibole-anorthite gabbro, the West coast of the Sadok lake, 55°32'37.9" N, 60°23'02.7" E; 54 – 118-4 – diopside-garnet-anorthite gabbro-amphibolite, the South end of coast of the Bol. Tatkul lake near the Cranberry bog, IRS, 55°11'3.84" N, 60°16'26.83" E; 55 – K-199-8 – diopside-quartz-scapolite pegmatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake, pit 199, IRS, 55°10'34.9" N, 60°15'12.1" E; 56 – 337-3-2v – coarse-grained amphibole-diopside-scapolite pegmatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 57 – 337-3-2g – diopside-scapolite gabbro, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 58 – 338-4 – diopside-quartz-scapolite granite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 59 – 287-7 – diopside-scapolite gabbro, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17.9" N, 60°15'57" E; 60 – 337-5 – diopside-apatite-scapolite-phlogopite glimmerite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 61 – 338-7 – phlogopite-calcite-dolomite carbonatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 62 – 194-5 – epidote-biotite-amphibole-anorthite gabbro, the East coast of the Bol. Ishkul lake near the Aspen Cape, IRS, 55°16'27.92" N, 60°15'29.73" E; 63 – K-289 – garnet-biotite-sillimanite-kyanite schist of the Kyshtym strata, the South end of coast of the Bol. Tatkul lake near the Cranberry bog, IRS, 55°10'58.08" N, 60°18'22.11" E; 64 – 211-6 – spinel-olivine-clinocllore-pargasite hornblendite with anorthite, apatite, ilmenite, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, IRS, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 65 – 261-10 – clinocllore-vermiculite rock, the Northern bottom of the Mountain Savelkul, IRS, 55°07'45.8" N, 60°17'33.5" E; 66 – K-418 – zonal talc-corundum-spinel-phlogopite vein among enstatites, near the Eastern edge of the village Biostantsiya on the Bol. Miassovo lake, 55°10'42.4" N, 60°17'33.2" E; 67 – 718-A – coarse-grained ilmenite-garnet-zoisite-anorthite gabbro-amphibolite with corundum, chlorite, calcite, and spinel, near the Western outskirts of the village Urazbaevo, IRS, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 68 – 337-5 – diopside-apatite-scapolite-phlogopite glimmerite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'17" N, 60°15'57" E; 69 – 211-10 – garnet-apatite-spinel hornblendite, the Northern foot of the Mountain Savelkul, 55°07'37.96" N, 60°17'55.25" E; 70 – 718-A – coarse-grained ilmenite-garnet-zoisite-anorthite gabbro-amphibolite with corundum, chlorite, calcite, and spinel, near the Western outskirts of the village Urazbaevo, IRS, 55°11'10.32" N, 60°19'30.36" E; 71 – 338-13 – calcite carbonatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 72 – MPM-2 – calcite carbonatite, the South coast of the Bol. Miassovo lake, Mramornii cape of Uzen'kaya bay, IRS, 55°08'02.4" N, 60°16'31.54" E; 73 – 338 – calcite-dolomite carbonatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 74 – 338-16 – calcite carbonatite, the North-West coast of the Bol. Miassovo lake near the Zimnik bay, pit 287, IRS, 55°10'18" N, 60°15'57.9" E; 75 – SD-3-2 – spinel-högbomite-titanomagnetite clinopyroxenite, the West coast of the Sadok lake, 55°32'47.3" N, 60°23'04.6" E.

Впервые охарактеризован минеральный состав необычных для Урала магматических скаполитсодержащих пород, рассекающих в виде даек кальцит-доломитовые карбонатиты [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2015]. Это диопсид-скаполитовое габбро, переходящее в скаполитовый клинопироксенит, гранитоподобные кварц-скаполитовые породы, кварц-скаполитовый пегматит, апатит-диопсид-скаполит-флогопитовые слюдиты (рис. 3). Во всех этих разновидностях пород скаполит является первичным породообразующим минералом. Его кристаллы имеют поверхности одновременного роста с зернами диопсида, кварца, циркона, амфиболов и анортита. Следует особо подчеркнуть, что скаполит не развивался по

анортиту, а кристаллизовался с ним одновременно. Породы имеют резкие секущие контакты с вмещающими их карбонатитами и не вызывают в последних образования скарновых ассоциаций минералов. Описанные скаполитовые породы не являются продуктом метасоматических процессов и по геологическим признакам считаются магматическими.

Достаточно большое число минералов исследовано из горнблендитов. Они, как и упомянутые выше габбро и габбро-амфиболиты, слагают глыбы в серпентинитовом меланже и отдельные олистоилиты среди кварцито-сланцевых толщ в Ильменогорском комплексе. Основной их объем сложен амфиболами (паргаситом, горнблендом, редко – ак-



**Рис. 2.** Габбро-амфиболиты. Разновидности анортитовых габбро-амфиболитов. Фото шлифов, николи параллельны.

а – шпинель-цоизитовый (проба 84-А), б – клиноцоизитовый (проба 305-3), в – магнезиогорнблендовый (проба 149-6), г – шпинель-гранатовый (проба 118-1). *An* – анортит, *Amp* – амфибол, *Czo* – клиноцоизит, *Grt* – гранат, *Mhb* – магнезиогорнбленд, *Spl* – шпинель, *Zo* – цоизит.

**Fig. 2.** The varieties of anorthite gabbro-amphibolites. Photos of thin sections, nichols II.

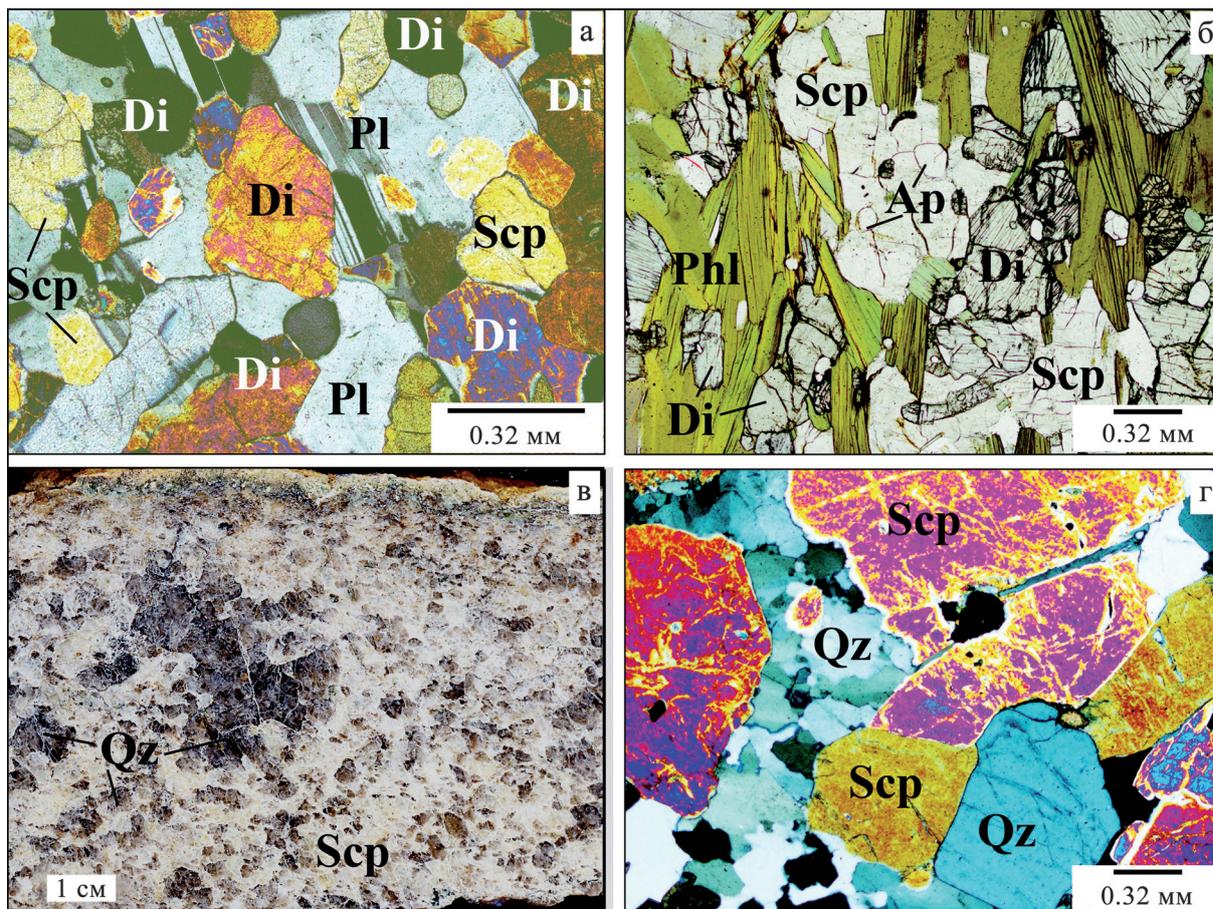
а – spinel-zoisite (probe 84-A), б – clinozoisite (probe 305-3), в – magnesian hornblende (probe 149-6); г – spinel-garnet (probe 118-1). *An* – anorthite, *Amp* – amphibole, *Czo* – clinozoisite, *Grt* – garnet, *Mhb* – magnesian hornblende, *Spl* – spinel, *Zo* – zoisite.

тинолитом). По присутствию второстепенных минералов среди горнблендитов выделены разновидности: оливин-шпинелевые, рутил-шпинелевые, диопсид-анортитовые, энстатитовые, корунд-шпинель-сапфириновые, гранат-апатит-шпинель-анортитовые (рис. 4). Многие из них также обогащены РЗЭ. Отмечены случаи чередования в одной глыбе “слоев” горнблендита, габбро и клинопироксенита (Осиновый мыс на оз. Бол. Ишкуль [В.Г. Кориневский, Е.В. Кориневский, 2006]). По присутствию индукционных поверхностей на гранях индивидов у всех минералов устанавливается одновременная их кристаллизация без проявления процессов метасоматоза.

Из трех разновидностей клинопироксенитов из глыб в серпентинитовом меланже для исследо-

ваний выделены высокоглиноземистый диопсид, хётбомит и эпидот (рис. 5). Оливины отобраны из специфического по составу анортит-паргасит-клинохлор-оливин-шпинелевого горнблендита (см. табл. 1, ан. 43) и из энстатитсодержащего дунита (см. табл. 1, ан. 44–46).

Нетрадиционные для Урала “безрудные” кальцит-доломитовые карбонатиты Ильменских гор дали материал для исследования состава кальцита, доломита, флогопита, тремолита и шпинели (рис. 6). В прослоях кристаллосланцев и амфиболитов с редко встречающейся 4-амфиболовой ассоциацией среди кварцитов кыштымской толщи Ильменогорского комплекса (рис. 7) исследовано распределение рассеянных элементов в куммингтоните, антофиллите и жедрите.



**Рис. 3.** Разновидности скаполитовых магматических пород. Фото шлифов, николи скрещены.

а – диопсидовое с эпидотом габбро (проба 337-3-2в); б – апатит-диопсид-флогопитовый слюдит (проба 337-5); в – кварц-скаполитовый гранит с диопсидом и амфиболом (проба 338-4), фото образца; г – кварц-скаполитовый пегматит с амфиболом и гранатом (проба 199-8). *Ap* – апатит, *Di* – диопсид, *Pl* – плагиоклаз, *Scp* – скаполит, *Qz* – кварц.

**Fig. 3.** The varieties of scapolite igneous rocks. Photos of thin sections, crossed-nichols.

а – diopside with epidote gabbro (probe 337-3-2в); б – apatite-diopside-phlogopite glimmerite (probe 337-5); в – quartz-scapolite granite with diopside (probe 338-4), photo of sample; г – quartz-scapolite pegmatite with amphibole and garnet (probe 199-8). *Ap* – apatite, *Di* – diopside, *Scp* – scapolite, *Qz* – quartz.

### НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В МИНЕРАЛАХ

Самый большой массив данных по элементам-примесям получен для амфиболов. Судя по химическому составу (см. табл. 1), среди них установлены 11 минеральных видов: паргасит, калиевый паргасит, ферро-паргасит, чермакит, магнезиогорнбленд, калиймагнезиогастингсит, актинолит, кумингтонит, антофиллит, жедрит и тремолит. Данные по распределению в них элементов-примесей в большинстве случаев приведены впервые (табл. 2). Не выявлено прямой зависимости содержания рассеянных элементов от минерального вида амфиболов. При этом для каждой разновидности амфиболов отмечаются резкие колебания количества од-

них и тех же элементов, которые не зависят ни от щелочности породы, ни от ее геологической природы (магматической или метаморфической). Содержания сидерофильных элементов (V, Cr, Ni, Co) в амфиболах являются максимальными в анортитовых габброидах, габбро-амфиболитах, горнблендитах. В этих же породах в амфиболах иногда фиксируются очень большие содержания Zn, Sr, Ba. Это явление наблюдается и в других минералах из указанных пород – диопсиде, энстатите, эпидоте, цоизите. Подтверждено мнение Ф.П. Леснова [2007] об амфиболах как более эффективных концентраторах РЗЭ, нежели другие минералы, такие как клинопироксены, ортопироксены и оливин. Основной вклад в количество РЗЭ в амфиболитах вносят цоизит, апатит и амфибол, которые обеспечивают заметное преобладание LREE над HREE. Относитель-

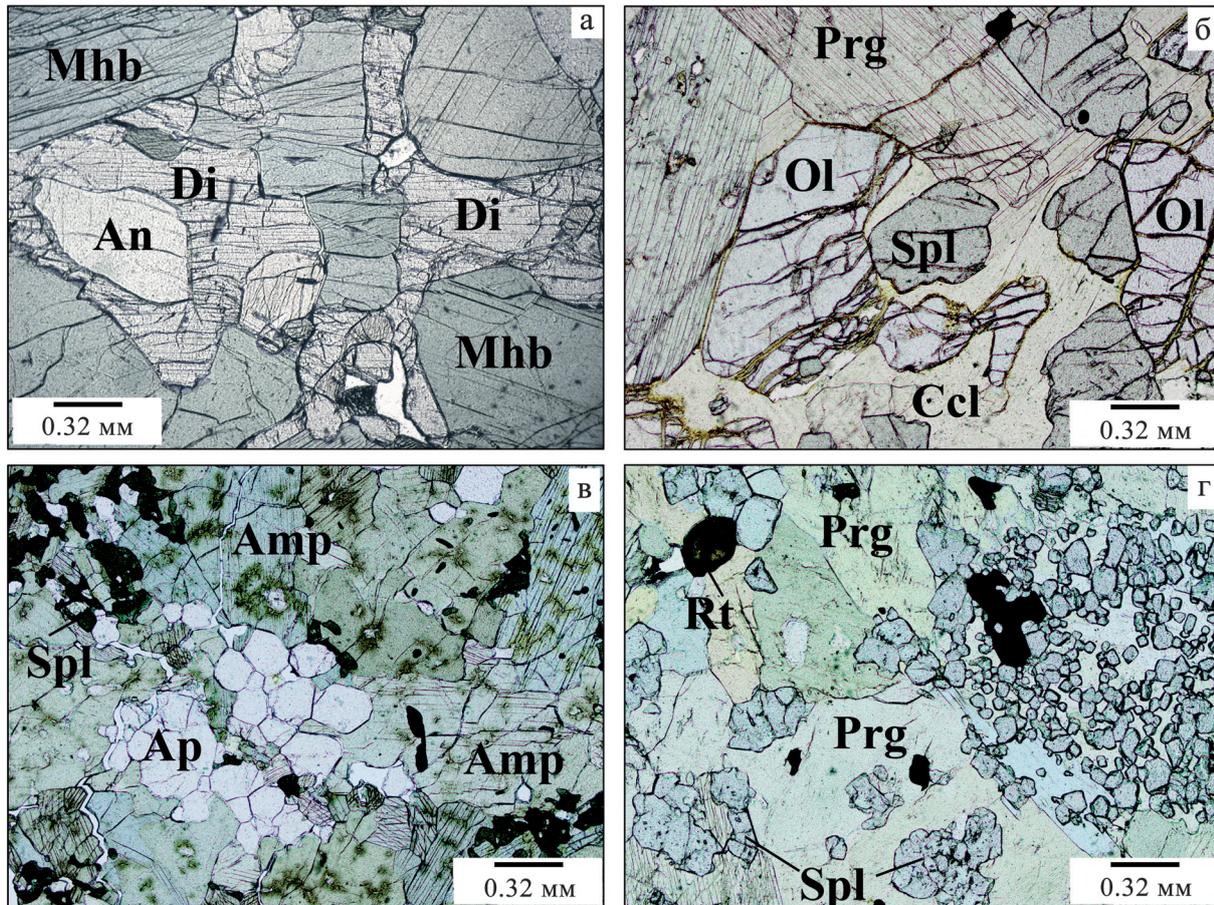


Рис. 4. Разновидности горнблендитов. Фото шлифов, николи параллельны.

а – анортит-диопсидовый (проба 194-9), б – анортит-оливин-шпинелевый (проба 211-6), в – шпинель-апатитовый (проба 211-10), г – рутил-шпинелевый (проба 261-6). *Amp* – амфибол, *An* – анортит, *Ap* – апатит, *Ccl* – клинохлор, *Di* – диопсид, *Mhb* – магниогорнбленд, *Ol* – оливин, *Prg* – паргасит, *Rt* – рутил, *Spl* – шпинель.

Fig. 4. The varieties of hornblendites. Photos of thin sections, nichols II.

а – anorthite-diopside (probe 194-9), б – anorthite-olivine-spinel (probe 211-6), в – spinel-apatite (probe 211-10), г – rutil-spinel (probe 261-6). *Amp* – amphibole, *An* – anorthite, *Ap* – apatite, *Ccl* – clinocllore, *Di* – diopside, *Mhb* – magnesiohornblende, *Ol* – olivine, *Prg* – pargasite, *Rt* – rutile, *Spl* – spinel.

но высокие содержания Ce и Nd в мафитах и ультрамафитах Ильменогорского комплекса являются отражением главенствующей роли в их составе амфиболов, в которых концентрируются эти элементы [Леснов, 2007]. В амфиболах из амфиболитов и горнблендитов также отмечены очень высокие содержания РЗЭ (до 300–560 г/т) по сравнению с величинами, приводимыми в литературе [Frei et al., 2004; Скублов, 2005; Леснов, 2007]. По количеству La, Ce, Nd амфиболы уступают лишь цоизиту, а по Dy – цоизиту и гранату. Содержания Sc в амфиболах близки к их содержаниям в цоизите. Уровни содержания Eu в амфиболах редкоземельных разновидностей как в амфиболитах, так и в горнблендитах всегда в 2–5 раз выше, чем в анортите. В этом же соотношении амфибол из этих пород обогащен Sr по сравнению с амфиболом из близких по составу

диопсид-анортитовых габбро из глыб в меланже, содержащих “обычные” (низкие) количества РЗЭ. Амфиболы и гранаты отличаются необычно высокими концентрациями РЗЭ (соответственно до 561 и 408 г/т). Резким преобладанием тяжелых элементов и отрицательной Eu-аномалией характеризуется гранат, в котором концентрируется основное количество Y (до 528 г/т) и Yb (до 69 г/т), а содержание Ba в нем лишь немного меньше, чем в анортите. Привлекают внимание интенсивные положительные аномалии Eu (в апатите), Er (в цоизите) и отрицательная аномалия Sm (в амфиболе), которые обычно не наблюдаются в этих минералах из офиолитовых ассоциаций [Леснов, 2007] и метаморфизованных мафитов [Скублов, 2005].

Наши данные впервые для Урала показывают ведущую роль в концентрациях РЗЭ цоизита, пре-

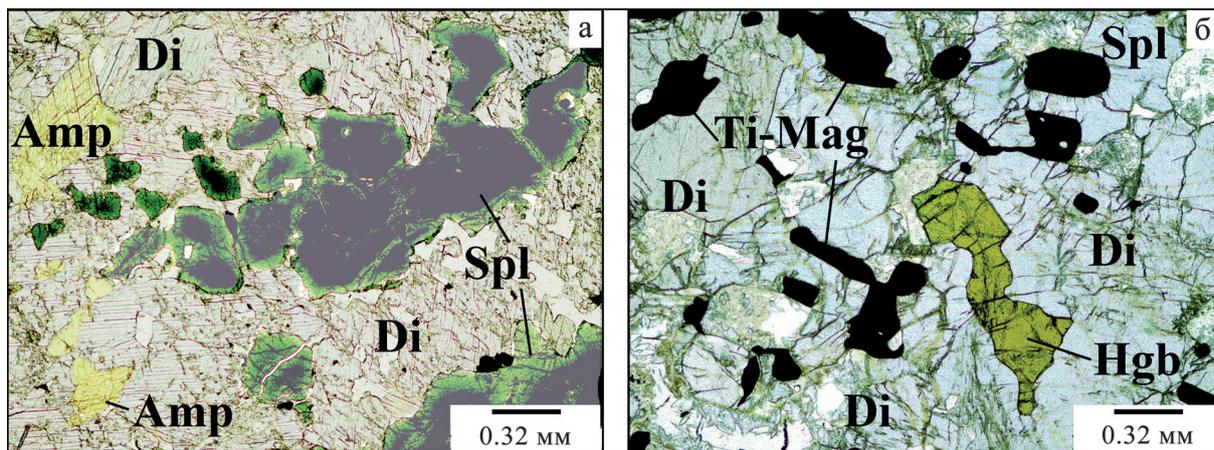


Рис. 5. Разновидности пироксенитов. Фото шлифов, николи параллельны.

а – шпинелевый с амфиболом (проба 177-1), б – хёгбомит-титаномагнетитовый (проба Сд-3-2). *Amp* – амфибол, *Di* – диопсид, *Hgb* – хёгбомит, *Spl* – шпинель, *Ti-Mag* – титаномагнетит.

Fig. 5. The varieties of clinopyroxenites. Photos of thin sections, nichols II.

а – spinel with amphibole (probe 177-1), б – högbomite-titanomagnetite (probe Сд-3-2). *Amp* – amphibole, *Di* – diopside, *Hgb* – högbomite, *Spl* – spinel, *Ti-Mag* – titanomagnetite.

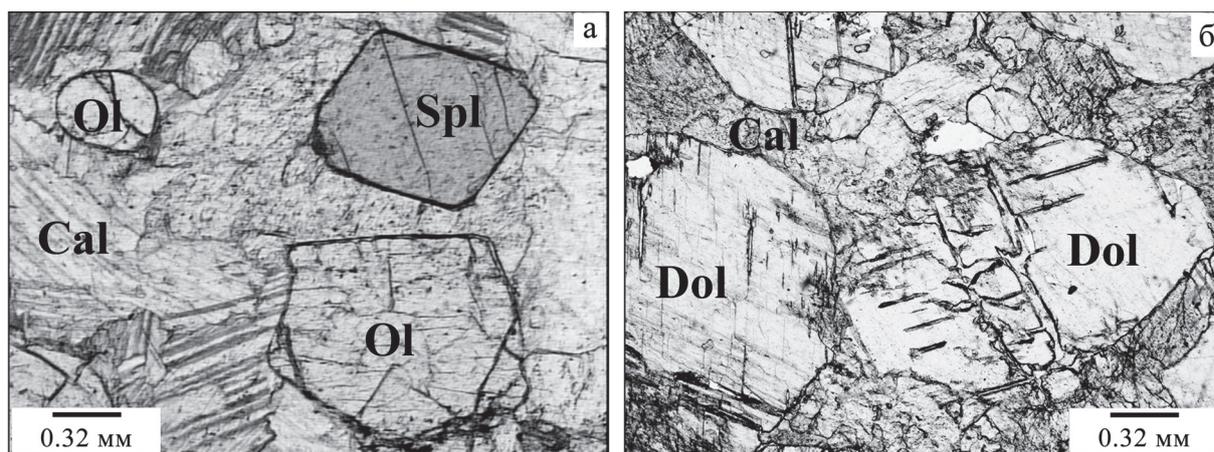


Рис. 6. Разновидности карбонатитов. Фото шлифов, николи параллельны.

а – оливин-шпинель-кальцитовый (проба 54-Д), б – кальцит-доломитовый (проба 338). *Cal* – кальцит, *Dol* – доломит *Ol* – оливин, *Spl* – шпинель.

Fig. 6. The varieties of carbonatites. Photos of thin sections, nichols II.

а – olivine-spinel-calcite (probe 54-Д), б – calcite-dolomite (probe 338). *Cal* – calcite, *Dol* – dolomite, *Ol* – olivine, *Spl* – spinel.

вышающую в этом отношении амфиболы, гранаты и апатиты. При этом следует отметить, что в описываемых породах цоизит и апатит содержат необычайно много Eu, даже больше чем в плагиоклазе. Цоизит (клиноцоизит) является самым большим концентратором всех легких РЗЭ, а также Dy, Er, Nb, Th в описываемых породах. По содержаниям Sr он уступает лишь анортиту и апатиту, а по содержаниям Y – лишь гранату. Наблюдается прямая корреляция содержаний Y в породах с суммарным

количеством РЗЭ в них. Приведенные в табл. 2 данные показывают, что повышенные содержания РЗЭ и малых элементов заметно превосходят их количество в аналогичных минералах других комплексов и формаций [Скублов, 2005; Леснов, 2007]. Важно подчеркнуть резкое преобладание во всех этих минералах (за исключением гранатов) легких РЗЭ. Необычно высокими концентрациями РЗЭ отличаются амфиболы и гранаты (соответственно до 561 и 408 г/т).

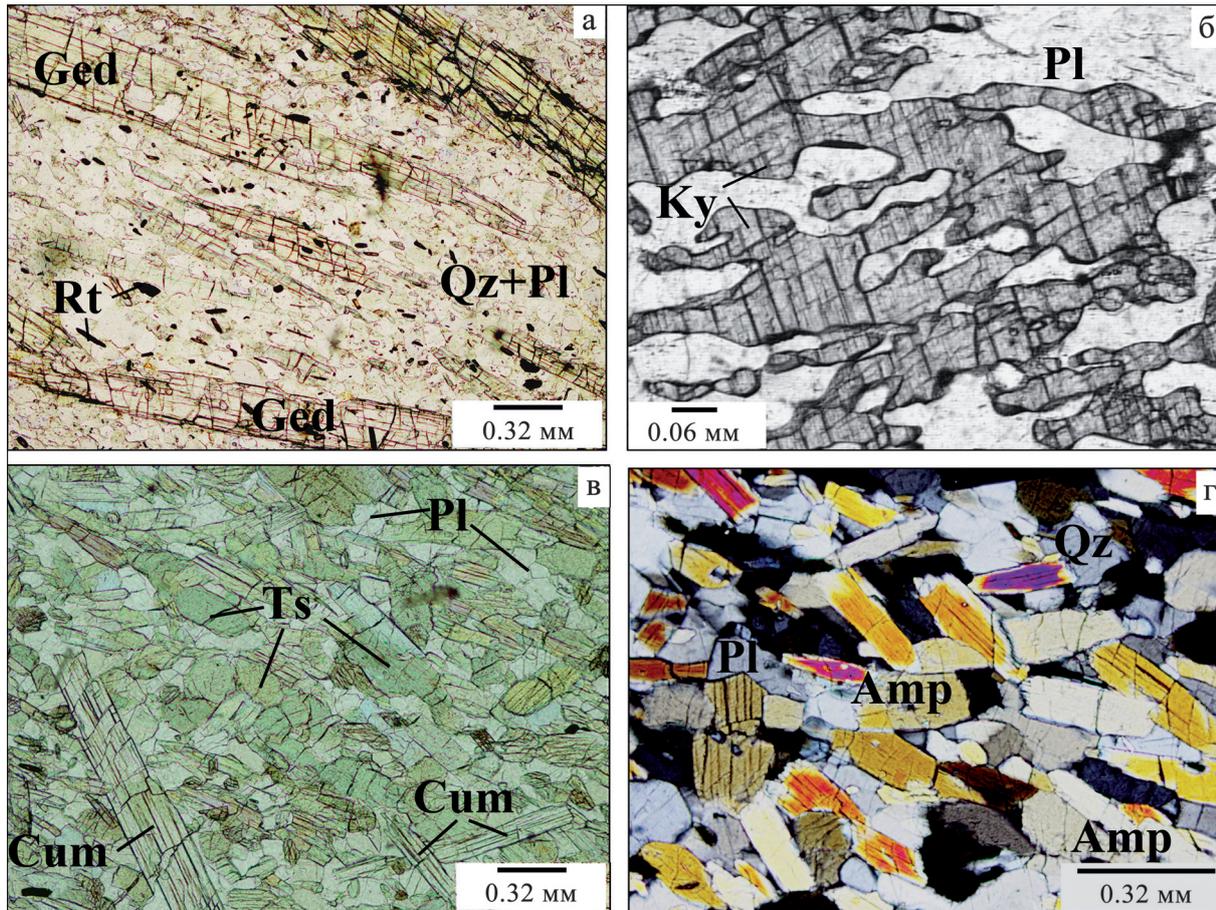


Рис. 7. Разновидности метаморфических пород. Фото шлифов.

а – жедритовый кристаллосланец с рутилом (проба 105-13); б – кианитовый кристаллосланец (проба 136-9); в – 3-амфиболовый амфиболит (проба 105-12), николи параллельны; г – кварц-полевошпатовая основная масса амфиболита (проба 105-12), николи скрещены. *Amp* – амфибол, *Cum* – куммингтонит, *Ged* – жедрит, *Ky* – кианит, *Pl* – плагиоклаз, *Qz* – кварц, *Rt* – рутил, *Ts* – чермакит.

Fig. 7. The varieties of metamorphic rocks. Photos of thin sections.

а – gedrite crystalloshist (probe 10513); б – kyanite crystalloshist (probe 1369); в – three-amphibole amphibolite (probe 10512), nichols II; г – fine-grained quartz-feldspar groundmass of amphibolite (probe 10512), crossed-nichols. *Amp* – amphibole, *Cum* – cummingtonite, *Ged* – gedrite, *Ky* – kyanite, *Pl* – plagioclase, *Qz* – quartz, *Rt* – rutile, *Ts* – tschermakite.

Хотя и имеются указания на ничтожную роль аксессуарных минералов пород как носителей РЗЭ [Соболев, 1965], нельзя не отметить, что в ультрамафитах Ильменских гор они могут иметь большое значение. Повсеместно в цоизите и анортите, нередко в амфиболе и гранате наблюдаются мельчайшие округлые включения циркона, вносящего свою лепту в количество РЗЭ. Также встречены в зернах ильменита и рутила очень мелкие включения уранинита и шеелита. Иногда попадаются небольшие зональные по содержаниям РЗЭ выделения ортита. Так, в рутил-шпинелевом горнблендите (см. табл. 2, ан. 2) обнаружены мельчайшие выделения монацита и ортита, в одном из которых определено:  $\text{La}_2\text{O}_3$  – 5.43,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  – 14.81 мас. %, возможно, по этой причине и из-за необычно высо-

кого количества РЗЭ в амфиболе (561.6 г/т) сумма РЗЭ и иттрия в этой пробе горнблендита достигает 675 г/т. Основная же роль в концентрации РЗЭ в горнблендитах, естественно, принадлежит амфиболу и апатиту (см. табл. 2).

Оливины из дунитов и карбонатитовых линз среди диопсидитов выделяются высокими содержаниями Ni (до 3026 г/т) и традиционно низкими количествами РЗЭ (0.04–3.76 г/т) в противовес оливину из специфических оливин-шпинель-клинохлорпаргаситовых горнблендитов (см. табл. 2, ан. 43), где  $\Sigma\text{РЗЭ} = 31.29$  г/т.

В анализированных эпидотах наблюдаются повышенные содержания V (179–623 г/т), Sr (570–405 г/т), Zr (92–198 г/т), но суммы РЗЭ в эпидотах из скаполитовых габбро (107–386 г/т) резко выше,

Таблица 2. Содержание микроэлементов в минералах, г/т

Table 2. Content of microelements in the minerals, ppm

Минералы	Prg				K-Prg		Fe-Prg	Ts		Mhb	
	№ пробы	211-6	261-6	338-18	84-1	149-6	Сд-13	173-16-2	84-1	Куар	149-6
№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Li	6.51	19.4	5.49	5.21	9.78	6.2	5.84	3.14	2.95	9.78	3.46
Be	3.16	7.43	8.12	0.33	0.17	2.07	1.01	2.25	0.09	0.17	0.06
Sc	25.7	82.6	1.62	47.9	33.9	34.6	16.7	37.6	3.05	33.9	66.5
V	552	354	22.4	271	121	389	273	182	8.4	121	276
Cr	41.9	25.2	5.58	172	4952	33.3	128	93.9	148	4952	270
Co	22.9	27.8	4.56	55.6	43.9	82.1	52.9	8.81	50	43.9	60.6
Ni	138	273	4.42	98.5	574	30.6	170	21.6	492	574	197
Zn	37.6	36.2	204	33.3	16.7	66.4	133	55.9	1859	16.7	29.8
Rb	4.11	3.04	14.9	8.95	4.94	27.6	8.23	2.55	5.46	4.94	5.83
Sr	332	379	119	215	93.8	1318	349	549	197	93.8	93.7
Y	52.4	298	3.19	1.59	3.78	32.5	9.76	101	0.91	3.78	8.65
Zr	142	225	92.5	75.3	93.7	156	89	41.2	67.9	93.7	69.3
Nb	24	12.9	91.3	6.55	0.57	9.64	3.09	12.7	15	0.57	5.85
Mo	0.05	<	<	2.99	<	0.4	<	<	3.45	<	0.23
Sn	8	7.46	22.6	0.13	0.34	2	94.3	25.5	327	0.34	1.17
Sb	0.37	153	0.49	0.47	0.16	0.42	0.51	0.36	<	0.16	1.01
Cs	0.03	0.1	0.07	0.05	0.02	0.06	0.35	0.11	0.11	0.02	0.06
Ba	63.6	7432	72.7	247	22.4	1535	220	35	173	22.4	52.8
La	20	23.3	0.87	1.23	0.72	9.61	3.21	41.9	0.98	0.72	1.29
Ce	99.8	99.6	2.1	1.69	1.58	22	8.01	102	1.77	1.58	2.89
Pr	18.1	19.9	0.24	0.18	0.21	3.07	1.15	11.1	0.27	0.21	0.4
Nd	89.4	133	1.03	0.69	1.1	16.1	5.72	47.7	1.02	1.1	2.09
Sm	20.2	45	0.32	0.16	0.37	4.93	1.63	10.9	0.09	0.37	0.82
Eu	4.18	9.59	0.11	0.21	0.17	2.14	0.7	3.18	0.09	0.17	0.4
Gd	15.3	52.3	0.45	0.19	0.54	5.6	1.91	12.3	0.2	0.54	1.26
Tb	2.07	9.53	0.1	0.03	0.1	0.9	0.31	2.34	0.02	0.1	0.24
Dy	11.6	57.8	0.63	0.27	0.7	5.8	1.94	18.7	0.11	0.7	1.68
Ho	2.19	12.2	0.13	0.06	0.16	1.24	0.37	4.74	0.05	0.16	0.35
Er	6.06	65.2	0.36	0.21	0.47	3.73	1.12	16.7	0.13	0.47	1.11
Tm	0.93	4.52	0.06	0.03	0.07	0.54	0.15	2.71	0.01	0.07	0.15
Yb	6.05	26	0.3	0.24	0.45	3.65	0.99	17.5	0.09	0.45	0.99
Lu	0.96	3.67	0.04	0.04	0.07	0.55	0.15	2.25	0.02	0.07	0.14
Hf	4.14	6.74	4.81	1.44	1.99	4.43	2.75	1.94	1.41	1.99	1.53
Ta	1.39	0.91	16.3	0.33	0.27	0.39	1.43	1.34	0.75	0.27	0.27
W	0.12	5.77	0.17	0.07	0.11	0.15	0.19	0.91	0.21	0.11	1.08
Th	6.73	3.28	0.5	0.21	0.19	1.81	0.88	10.4	0.39	0.19	0.3
U	10.5	2.01	0.82	0.85	0.15	0.76	0.21	4.51	0.95	0.15	0.41
ΣРЗЭ	296.84	561.54	6.74	5.23	6.71	79.23	27.36	285.02	4.85	6.71	13.81

Минералы	Mhb		KMgHst	Act	Cum		Ged	Trm	
	№ пробы	194-9	177-2-A	194-22	176-10	147-4-2	105-12	105-39	338
№ п.п.	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Li	9.76	7.01	6.8	2.52	19.4	18.9	347	0.85	1.67
Be	0.27	0.07	0.68	0.36	0.14	0.12	0.51	4.35	1.23
Sc	63.9	67.3	27	8.59	43.80	18.3	70.6	0.46	11.6
V	304	298	474	53.6	136	146	352	27.4	89
Cr	493	823	79	1794	8.46	21.2	36.5	38.5	1270
Co	58.9	58.9	68.8	52.7	12	65.7	36.3	0.8	38.1
Ni	106	136	55.6	1136	9.07	48.1	35.1	5.78	790
Zn	99.3	80.9	111	172	109	124	110	42.9	43.2
Rb	5.8	2.7	68.1	0.82	2.19	0.37	2.15	7.42	0.31
Sr	104	33.5	993	22.7	50.8	21	60.4	22.8	20.7
Y	2.48	3.34	8.02	11.4	22	4.79	32.2	3.77	14.2
Zr	49.3	39.4	87.5	26	18.8	7.36	33.4	9.36	8.77
Nb	7.4	0.33	4.05	0.7	0.57	0.19	3.67	4.42	17.2

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continuation

Минералы	<i>Mhb</i>		<i>KMgHst</i>	<i>Act</i>	<i>Cum</i>		<i>Ged</i>	<i>Trm</i>	
№ пробы	194-9	177-2-A	194-22	176-10	147-4-2	105-12	105-39	338	K-418
№ п.п.	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Mo	<	<	0.05	0.28	<	<	<	<	<
Sn	0.19	0.18	1.99	1.42	0.3	1.69	1.12	0.38	2.24
Sb	0.33	0.35	0.1	36.7	0.04	0.31	0.48	1.72	0.02
Cs	0.02	0.07	0.34	0.05	0.39	0.01	0.07	0.18	0.07
Ba	59.2	54.8	2271	1694	26.6	65.1	371	95.8	14.2
La	1.77	0.68	1.53	4.79	0.6	3.11	4.42	0.6	2.08
Ce	1.78	1.23	3.29	11.1	1.43	6.07	11.8	0.91	11
Pr	0.21	0.16	0.44	1.45	0.26	0.71	1.43	0.15	1.94
Nd	0.86	0.85	1.96	6.76	1.52	2.96	6.58	0.76	10.1
Sm	0.24	0.31	0.52	1.81	0.81	0.71	1.68	0.13	2.7
Eu	0.12	0.15	0.72	0.82	0.14	0.23	0.39	0.07	0.67
Gd	0.32	0.43	0.67	2.12	1.53	0.78	2.59	0.21	2.4
Tb	0.06	0.08	0.13	0.32	0.4	0.13	0.58	0.04	0.41
Dy	0.44	0.65	1.07	2.05	3.45	0.75	4.97	0.32	2.39
Ho	0.1	0.15	0.25	0.43	0.84	0.16	1.26	0.07	0.46
Er	0.35	0.45	0.86	7.55	2.96	0.52	4.07	0.3	1.28
Tm	0.05	0.07	0.15	0.21	0.53	0.08	0.71	0.03	0.18
Yb	0.37	0.5	1.14	1.44	4.4	0.59	4.68	0.15	1.2
Lu	0.06	0.07	0.19	0.2	0.62	0.08	0.73	0.03	0.18
Hf	1.1	0.79	2.58	0.67	0.52	0.32	1.73	0.46	0.48
Ta	0.27	0.07	0.06	0.06	0.31	0.03	0.6	0.22	1.2
W	<	<	0.07	<	1.60	0.13	0.4	0.02	<
Th	0.2	0.13	0.21	0.13	0.13	0.33	1.19	0.06	0.08
U	0.5	0.11	0.2	0.3	0.16	0.17	0.3	0.1	0.17
ΣРЗЭ	6.69	5.78	12.92	41.05	19.81	16.88	45.89	3.77	36.45

Минералы	<i>Di</i>						<i>Hdb</i>	<i>En</i>		<i>Grt</i>		
№ пробы	Сд-15-2	Сд-9-1	337-2	337-5	194-18	54-B**	173-16-3	125-A	194-4-7	Сд-15-2	84-1	84-A
№ п.п.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Li	27.2	2.78	27	17.8	28.7	5.77	11.6	1.29	1.13	0.69	11	10.8
Be	0.36	0.47	4.06	6.79	0.55	<	0.33	0.2	0.03	0.03	0.09	0.07
Sc	5.54	38.7	8.25	40.4	29.6	84	7.69	3.04	0.8	28.3	24.9	24.5
V	23.2	140	46.4	110	145	285	203	16.3	12.5	338	21.9	19.3
Cr	12.3	279	12.2	169	2.1	1313	26.4	883	358	102	7.94	7.56
Co	102	20.3	13.7	25.8	27.5	11.4	30.2	66.8	51.9	4.64	8.01	7.04
Ni	151	54.7	35.7	212	79.1	170	86.2	1263	685	3.48	2.04	3.56
Zn	254	24.1	329	101	48.5	11.1	138	86.9	54.6	<	21.9	0.5
Rb	3.21	2.4	1.08	4.09	4.03	<	6.3	1.84	0.87	4.82	5.08	2.95
Sr	25.1	14.2	16	42	556	21.07	191	6.21	11.8	30.4	166	109
Y	0.99	9.29	11.2	12	17.6	3.54	2.82	3.25	0.52	38.4	279	250
Zr	12.7	67.8	11.6	27.1	52.4	51.24	10.4	9.9	3.41	72	129	40.3
Nb	3.13	0.92	3.24	0.35	2.58	0.28	0.51	0.51	0.87	3.59	8.09	9.05
Mo	<	<	<	<	<	<	0.16	<	<	<	0.12	<
Sn	0.34	0.51	7.85	1.72	0.49	2.67	1.3	9.49	0.19	2.22	0.9	0.86
Sb	0.18	0.29	0.91	0.04	0.29	0.32	0.54	0.06	0.01	0.16	0.04	36.3
Cs	0.43	0.02	0.23	0.2	0.04	<	4.46	0.11	0.01	0.35	0.66	0.42
Ba	35.7	10.5	19.2	20.1	234	0.4	83.83	19	10.9	83.2	34.3	1422
La	2.65	2.38	1.01	3.71	7.57	0.007	1.7	0.71	0.26	7.88	31.2	16.5
Ce	7.45	5.81	2.06	9.01	17.9	0.32	3.47	2.21	0.55	21.1	88.2	48.6
Pr	0.83	0.69	0.41	1.46	2.42	0.08	0.37	0.28	0.06	2.68	8.08	4.53
Nd	3.85	3.08	2.04	7.88	11.8	0.47	1.73	1.13	0.29	17.8	32.1	19.2
Sm	0.74	0.77	0.89	2.98	3.02	0.26	0.35	0.29	0.05	9.73	7.1	4.01
Eu	0.18	0.65	0.12	0.79	0.94	0.08	0.13	0.08	0.02	3.42	1.57	1.25
Gd	0.52	1.04	1.14	3.41	3.23	0.35	0.38	0.32	0.06	10.3	7.06	4.91
Tb	0.06	0.2	0.23	0.51	0.49	0.07	0.06	0.07	0.01	1.42	1.76	1.42

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continuation

Минералы	<i>Di</i>						<i>Hdb</i>	<i>En</i>		<i>Grt</i>		
№ пробы	Сд-15-2	Сд-9-1	337-2	337-5	194-18	54-В**	173-16-3	125-А	194-4-7	Сд-15-2	84-1	84-А
№ п.п.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Dy	0.24	1.52	1.63	2.98	3.11	0.58	0.38	0.54	0.09	7.91	23	20.2
Ho	0.04	0.37	0.34	0.54	0.67	0.12	0.08	0.14	0.02	1.56	9.28	8.46
Er	0.11	1.28	1.2	1.36	2.07	0.3	0.26	0.37	0.06	4.64	51.4	49.3
Tm	0.01	0.19	0.23	0.18	0.32	0.05	0.05	0.06	0.01	0.66	11.8	10.9
Yb	0.08	1.4	2.55	1.16	2.23	0.25	0.37	0.38	0.06	4.45	116	106
Lu	0.01	0.21	0.55	0.19	0.39	0.03	0.08	0.05	0.01	0.67	19.6	18.4
Hf	0.3	1.63	1.08	1.02	2.25	2.56	0.53	0.23	0.08	2.59	3.12	0.97
Ta	0.32	0.59	0.66	0.07	0.23	0.04	<	0.23	0.17	0.28	2.05	0.42
W	0.17	0.89	0.09	0.07	0.05	0.09	0.18	9.3	0.02	0.22	1.34	0.64
Th	0.65	0.51	0.24	0.67	1.03	0.04	0.42	0.22	0.01	1.46	8.26	4.52
U	0.13	0.17	0.45	0.13	0.57	1.57	0.13	0.12	0.13	0.59	2.25	1.13
ΣРЗЭ	16.77	19.59	14.4	36.16	56.16	2.97	9.41	6.63	1.55	94.22	408.15	313.68

Минералы	<i>Grt</i>				<i>Spl</i>				<i>Hgb</i>	<i>Spr</i>
№ пробы	718-А	118-4-Б	К-289	11-1	211-6	261-6	54-Д	К-418	Сд-3-2	Сп-14
№ п.п.	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Li	9.02	1.13	16	21.8	3.26	25	3.31	16.3	3.49	59.2
Be	0.03	0.05	0.11	0.09	1.02	3.28	0.18	6.67	1.15	10.5
Sc	16.7	26.6	99.1	211	0.87	2.18	0.69	<	3.33	3.75
V	107	470	39.8	71.9	346	131	311	4.03	120	111
Cr	8.33	184	25.1	61.4	145	252	8093	1.41	525	329
Co	15.3	12.6	14.2	12.7	145	166	59	188	111	6.79
Ni	1.1	3.6	1.81	4.01	334	724	304	1464	472	53.1
Zn	1.45	21	36	23.8	1517	1071	1188	2687	379	<
Rb	2.25	2.07	2.53	4.4	2.83	2.89	1.89	0.72	2.01	1.31
Sr	132	351	15.7	164	31	29.4	20.2	11.3	6.7	62.8
Y	21.1	26.9	528	67	1.49	5.65	1.04	0.27	1.34	3.43
Zr	45	46.6	181	89.5	65	102	27.9	5.58	188	89.5
Nb	0.67	6.38	5.74	0.94	3.36	17	1.76	0.11	97.7	0.22
Mo	<	<	0.07	0.33	<	<	<	0.69	<	<
Sn	0.67	0.74	0.85	0.73	0.14	0.42	0.26	1.14	5.43	0.37
Sb	0.07	0.23	0.02	0.03	0.26	47.9	38.1	0.09	2.33	73
Cs	0.04	0.03	0.02	0.05	0.05	0.1	0.02	<	0.02	0.09
Ba	50.7	41.3	14.5	136	48.2	2242	1659	6.15	39.9	2533
La	4.94	4.86	8.64	7.07	1.06	6.67	0.81	0.27	0.59	4.4
Ce	10.9	10.1	22.1	13.9	3.68	17.2	1.41	0.66	1.86	9.45
Pr	1.36	1.46	2.45	1.62	0.31	2.14	0.16	0.04	0.16	0.99
Nd	6.34	7.05	9.89	5.94	1.28	9.06	0.63	0.2	0.6	3.55
Sm	1.51	1.82	2.98	1.88	0.26	1.85	0.14	0.02	0.16	0.75
Eu	0.33	0.84	0.7	0.51	0.06	0.73	0.06	0.01	0.05	0.87
Gd	1.87	2.47	12.6	3.6	0.3	1.67	0.13	0.05	0.2	0.76
Tb	0.39	0.53	6.26	0.8	0.04	0.23	0.02	0.004	0.04	0.11
Dy	3.06	4.15	76.8	7.34	0.28	1.22	0.17	0.05	0.21	0.68
Ho	0.77	1	20.8	2.04	0.06	0.24	0.04	0.01	0.05	0.14
Er	2.75	3.27	69.9	9.47	0.22	9.46	6.27	0.01	0.15	6.22
Tm	0.51	0.5	11	1.92	0.03	0.09	0.02	0.002	0.02	0.06
Yb	4.20	3.54	69.5	16.5	0.24	0.66	0.15	0.04	0.16	0.48
Lu	0.76	0.55	9.02	2.53	0.04	0.1	0.03	0.01	0.02	0.08
Hf	1.01	1.09	4.44	2.25	1.58	2.64	0.59	0.2	5.2	2.77
Ta	0.08	0.44	0.87	0.66	0.36	1.49	0.18	0.13	4.44	0.08
W	<	1.51	0.78	0.24	0.01	8.2	0.01	0.68	0.22	0.27
Th	1.52	0.43	2.32	1.82	5.99	1.21	0.12	<	0.13	4.86
U	0.89	0.42	0.74	0.8	12.6	0.5	1.05	0.05	0.12	0.6
ΣРЗЭ	39.93	42.14	322.64	75.12	7.86	51.32	10.04	1.38	4.27	28.52

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continuation

Минералы	<i>OI</i>				<i>Ep</i>			<i>Zo</i>	<i>Czo</i>
№ пробы	211-6	T-20-A	54-B**	182**	OCM-5	K-2	337-3-2B	84-A	173-5-1
№ п.п.	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Li	5.41	2.53	8.47	3.98	2.41	6.99	194	6.52	4.29
Be	0.02	<	<	<	0.05	0.11	0.14	1.07	0.23
Sc	1.7	4.5	11.4	9.14	20.7	6.37	27.4	41	1.83
V	2.84	3.08	1.26	0.81	623	179	191	105	13.8
Cr	1.22	62.1	33	13.8	33.6	15.4	124	25.9	7.36
Co	97.9	122	132	129	0.85	1.33	1.75	8.9	0.86
Ni	541	2196	3026	2778	2.07	3.55	2.3	24.4	1.39
Zn	34.1	63.9	29.8	43.9	<	<	26.6	54.7	<
Rb	2.86	2.11	<	<	8.75	7.71	2.34	1.71	1.05
Sr	79.6	44.7	0.03	<	570	573	405	1681	2189
Y	1.6	1.15	0.03	0.03	9.07	47.4	29.3	196	19.6
Zr	104	35	0.03	0.01	92.8	186	198	141	34.14
Nb	4.9	4.41	0.1	0.05	7.16	6.08	6.89	22.9	1.76
Mo	0.18	<	<	<	<	<	0.15	0.14	<
Sn	0.16	0.48	0.95	0.44	0.85	11.8	27	10.1	0.61
Sb	0.84	0.14	<	0.02	0.7	0.13	98.1	0.28	75.8
Cs	0.03	0.02	<	<	0.08	0.32	0.46	0.13	0.06
Ba	38.1	30.6	<	<	220	45.8	4041	21.4	3071
La	7.83	0.74	0.001	0.001	1.47	75.6	20.4	97.7	7.55
Ce	15.2	1.32	0.002	0.001	3.56	167	38.7	232	18.6
Pr	1.46	0.15	<	<	0.47	19.7	4.32	26.1	2.39
Nd	4.83	0.71	<	<	2.21	72.5	18.6	104	11
Sm	0.64	0.12	<	<	0.64	13.2	4.17	22.8	2.72
Eu	0.11	0.03	<	<	0.39	2.59	2.28	7.37	1.39
Gd	0.41	0.13	<	<	0.91	12	4.68	23.9	3.07
Tb	0.04	0.02	<	<	0.19	1.57	0.78	4.01	0.51
Dy	0.27	0.17	<	<	1.41	8.58	4.89	26.9	3.24
Ho	0.05	0.04	<	0.002	0.34	1.72	1	6.38	0.75
Er	0.2	0.14	0.01	0.01	1.19	5.17	3.14	120.8	8.57
Tm	0.03	0.02	0.003	0.002	0.20	0.74	0.47	3.35	0.35
Yb	0.19	0.15	0.04	0.02	1.45	4.9	3.28	22.4	2.35
Lu	0.03	0.02	0.01	0.005	0.25	0.7	0.51	3.16	0.38
Hf	2.2	0.74	<	<	1.93	5.12	6.15	3.36	0.84
Ta	0.55	0.44	0.004	<	0.33	0.72	0.75	1.4	0.21
W	<	0.06	0.07	0.02	0.34	0.09	0.47	2.96	0.55
Th	2.11	0.14	0.004	<	0.22	17.9	6.15	29	1.02
U	3.82	0.61	0.003	<	0.63	28.2	38.2	7.92	0.8
ΣP3Э	31.29	3.76	0.07	0.04	14.59	385.97	107.22	700.87	62.87

Минералы	<i>An</i>			<i>Scp</i>					<i>Phl</i>		<i>Bt</i>	
№ пробы	718-A	СД-13	118-4	K-198-8	337-3-2B	337-3-2Г	338-4	287-7	337-5	338-7	194-5	K-289
№ п.п.	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
Li	4.67	1.74	2.32	17.7	13	51	60.5	30.3	109	11.8	50.9	118
Be	0.59	4.78	0.37	8.99	14.9	20.5	12.5	51.5	0.47	0.67	0.13	0.98
Sc	2.34	0.99	1.25	0.43	1.43	1.05	0.79	0.4	6.79	0.8	14	38.4
V	15.2	2.31	10.8	12.9	2.17	1.99	0.78	1.67	198	51.6	651	212
Cr	2.86	3.13	8.11	6.15	5.63	7.88	22.2	32.9	564	363	8.76	83.6
Co	1.2	0.89	0.49	2.16	0.45	0.45	0.44	0.49	69.2	1.48	87.2	40.5
Ni	2.29	2.38	4.43	6.75	2.88	2.72	2.86	0.93	1086	53.1	17.9	44
Zn	50.2	9.49	52.7	32.3	16.5	12.4	99.6	31.9	513	92	237	273
Rb	5.81	4.78	5.86	4.37	61.2	53.9	6.76	12.2	948	174	824	210
Sr	3042	337	4188	542	449	463	266	231	19.2	7.31	64.9	21
Y	5.2	0.75	1.92	2.41	1.93	1.6	3.3	7.06	1.33	3.13	2.16	5.58
Zr	94.5	90.8	102	31.1	106	102	76.8	37.5	70.5	20	46.5	59.2
Nb	8.1	0.31	14.2	3.22	3.13	1.71	3.69	6.49	13	9.41	27.6	20.7

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continuation

Минералы	An			Scp					Phl		Bt	
№ пробы	718-A	Сд-13	118-4	К-198-8	337-3-2в	337-3-2г	338-4	287-7	337-5	338-7	194-5	К-289
№ п.п.	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
Mo	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0.17	0.73	0.07
Sn	0.25	0.26	0.31	65	0.33	0.34	0.21	0.29	8.95	1.45	1.12	7.83
Sb	0.55	0.05	0.52	0.42	0.26	0.06	0.31	0.06	0.05	0.1	0.76	0.33
Cs	0.33	0.08	0.04	0.21	1.93	1.81	0.13	1.19	38.8	12.1	28.3	8.95
Ba	1584	18.2	60.3	101	236	151	68.8	52.2	2796	743	8663	471
La	7.78	0.74	4.32	3.42	10.2	7.74	14.6	4.28	3.13	1.8	5.57	10.7
Ce	16.6	1.17	7.98	6.07	12	13.4	15.2	9.26	6.93	1.71	11.1	27.4
Pr	1.95	0.14	1.01	0.76	2.03	1.58	2.73	1.1	0.87	0.37	1.34	3.37
Nd	9.35	0.64	4.64	3.19	8.17	6.42	9.73	4.62	3.7	1.62	5.15	13.7
Sm	1.84	0.12	0.95	0.62	1.15	0.86	1.45	1.13	0.73	0.34	0.89	3.09
Eu	1.9	0.11	0.56	0.31	0.45	0.35	0.33	0.2	0.23	0.08	1.7	0.58
Gd	1.61	0.13	0.86	0.63	0.92	0.69	1.22	1.13	0.52	0.38	0.76	2.64
Tb	0.21	0.02	0.1	0.08	0.1	0.07	0.14	0.18	0.05	0.06	0.09	0.36
Dy	0.95	0.12	0.44	0.47	0.41	0.32	0.66	1.04	0.27	0.38	0.41	1.52
Ho	0.19	0.03	0.08	0.08	0.08	0.06	0.12	0.2	0.05	0.08	0.07	0.22
Er	0.54	0.09	0.21	0.28	0.21	0.19	0.37	0.62	0.15	0.27	0.18	0.46
Tm	0.09	0.01	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.09	0.03	0.04	0.03	0.08
Yb	0.62	0.11	0.18	0.31	0.23	0.18	0.31	0.56	0.14	0.24	0.22	0.5
Lu	0.11	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.08	0.02	0.05	0.03	0.08
Hf	2.01	1.76	2.14	0.72	3.54	3.32	2.26	0.86	1.94	0.45	1.29	1.55
Ta	0.41	0.26	0.64	0.21	0.33	0.49	0.19	3.75	0.57	1.2	1.07	1.29
W	<	<	0.36	0.06	<	<	<	0.05	0.92	0.36	0.74	1.24
Th	2	0.09	0.52	0.27	0.22	1.09	5.77	0.41	1.10	0.32	0.85	2.19
U	1.57	0.21	0.82	0.56	0.75	0.49	0.79	1.11	0.57	0.37	0.45	0.52
ΣРЗЭ	43.74	3.45	21.39	16.3	43.96	31.93	46.96	24.49	16.82	7.42	27.54	64.7

Минералы	Ccl		Crn		Ap					Dol	Cal	Zrn
№ пробы	211-6	261-10	718-A	К-418	337-5	211-10	718-A	338-13**	MPM-2**	338	338-16	Сд-3-2**
№ п.п.	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Li	2.39	55.1	6.75	0.62	1.09	0.6	1.84	0.49	0.11	0.02	<	0.08
Be	0.08	0.91	0.87	0.06	0.42	<	0.09	<	<	<	<	<
Sc	3.72	10.3	1.01	<	3.21	0.6	1.18	0.06	0.09	0.53	<	319
V	205	113	16.7	2.01	17	4.65	7.11	11.1	8.61	0.39	0.34	0.71
Cr	65.4	134	147	4.82	4.52	0.87	1.07	0.33	0.36	4.07	3.29	0.39
Co	37.9	64.1	0.69	0.83	1.6	0.82	0.95	0.24	0.24	0.59	0.92	<
Ni	319	549	1.56	7.9	4.9	4.30	1.73	0.65	0.36	4.14	5.47	<
Zn	163	20.1	<	7.79	2.24	<	<	0.19	0.23	7.99	<	0.27
Rb	3.73	6.78	2.25	0.65	3.57	1.06	0.92	<	<	0.07	0.03	0.02
Sr	81.3	19.5	30.1	17.8	369	1859	1239	82.9	95	70.4	109	0.12
Y	2.03	1.16	1.92	0.37	177	90	40.3	1.87	16.1	0.88	1.65	85.9
Zr	220	46.2	12.5	2.16	69.9	31.7	23.8	0.13	0.45	1.99	0.41	49
Nb	5.6	4.28	0.66	0.42	1.87	2.04	0.31	0.06	0.02	<	<	3.69
Mo	0.64	<	<	<	<	1.6	0.1	<	<	<	<	4.12
Sn	1.65	0.66	0.31	0.51	0.16	0.12	0.35	0.21	0.17	0.93	<0.01	0.07
Sb	0.02	64.6	0.09	0.06	0.17	0.13	1.01	<	0.03	3.36	0.04	<
Cs	0.06	0.37	0.06	<	0.14	0.003	0.07	<	<	<	<	<
Ba	41.8	2892	40.60	43.9	23.7	15.9	226	0.15	0.18	119	12.3	<
La	2.42	1.37	2.34	0.32	59	36.4	20.7	1.2	10.4	0.34	0.56	<
Ce	4.74	3.05	5.86	0.62	270	64.1	51.1	0.89	12.9	0.26	0.62	0.45
Pr	0.59	0.42	0.68	0.07	36.1	11.4	6.73	0.24	2.74	0.0	0.14	<
Nd	2.15	1.78	3.17	0.27	201	55.1	33.1	1.08	12.4	0.28	0.46	<
Sm	0.45	0.36	0.65	0.07	68	15.2	9.34	0.23	2.59	0.04	0.14	0.02
Eu	0.11	0.54	0.65	0.03	12.6	4.49	12.6	0.06	0.51	0.04	0.02	0.05
Gd	0.39	0.35	0.6	0.08	70	17.6	9.23	0.26	2.53	0.07	0.0	0.43
Tb	0.04	0.04	0.09	0.01	8.3	2.69	1.24	0.03	0.35	0.1	0.02	0.26

Таблица 2. Окончание

Table 2. Ending

Минералы	Ccl		Crn		Ap					Dol	Cal	Zrn
№ пробы	211-6	261-10	718-A	K-418	337-5	211-10	718-A	338-13**	MPM-2**	338	338-16	Сд-3-2**
№ п.п.	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Dy	0.33	0.23	0.46	0.08	39.1	15.1	6.75	0.22	1.98	0.07	0.1	4.69
Ho	0.06	0.05	0.08	0.02	6.76	3.13	1.34	0.04	0.37	0.02	0.03	2.14
Er	0.23	11.6	0.25	0.03	16.2	8.56	4.09	0.1	0.92	0.54	0.08	13.3
Tm	0.04	0.02	0.04	0.01	1.81	1.15	0.6	0.01	0.1	0.01	0.01	3.23
Yb	0.3	0.17	0.23	0.05	9.51	6.89	3.87	0.05	0.52	0.03	0.05	38.2
Lu	0.05	0.03	0.03	0.01	1.28	0.97	0.66	0.01	0.06	0.01	0.01	9.79
Hf	4.74	1.1	0.31	0.05	2.08	0.65	0.6	<	0.005	0.03	<	5754
Ta	0.5	0.5	0.07	1.04	0.48	0.36	0.15	<	<	<	<	0.95
W	<	0.12	0.25	0.11	4.56	2.17	1	0.64	5.16	<	<	<
Th	2.09	0.32	1.15	0.05	4.29	2.45	1.29	0.9	15.29	<	<	0.12
U	3.39	0.13	0.52	0.05	16.6	18.50	7.52	19.2	89.5	0.03	0.03	91.4
ΣРЗЭ	11.81	20.01	15.13	1.67	799.66	242.78	161.35	4.42	48.37	1.81	2.24	72.56

Примечание. Буквенные обозначения минералов, привязка проб, названия вмещающих пород – см. табл. 1. \*\*Проба для анализа методом LA-ICP-MS, “<” – меньше чувствительности масс-спектрометра.

Note. Abbreviation, probe location, names of host rocks see in Table 1. \*\*Probe for LA-ICP-MS analyses, “<” – less sensitivity of the mass spectrometer.

нежели в эпидоте из диопсид-эпидотового анортитового габбро (14.59 г/т, см. табл. 2, ан. 47).

Существенно различается количество микроэлементов в апатитах разных пород. Наиболее низкие концентрации РЗЭ отмечены в кальцитовых “безрудных” карбонатитах (4–48 г/т, см. табл. 2, ан. 71, 72), малы в них и содержания Sr, Y, Zr. Однако в доломитовой разновидности этих карбонатитов (см. табл. 2, ан. 68) велика и сумма РЗЭ (около 800 г/т) и количества Sr, Y, Zr (соответственно 369.9, 177 и 69.9 г/т). Апатиты из горнблендита и габбро-амфиболита выделяются большим содержанием Sr (1239–1859 г/т), умеренными – Y, Zr и суммы РЗЭ (161–242 г/т).

Распределение многих элементов в анортите и скаполите из магматических пород в целом однотипно. Обращают на себя внимание высокие содержания в них и других Sr (231–4188), Zr (31–106), Ba (52–1584 г/т). Близка в анортитах и скаполитах повышенная сумма РЗЭ (до 50 г/т).

Безжелезистый флогопит из доломитовых и кальцитовых карбонатитов характеризуется повышенными, но различающимися количествами Li, V, Cr, Co, Ni, Zn, Rb, Zr, Ba (см. табл. 2, ан. 60, 61). Биотиты из анортитового биотит-амфиболового габбро и гранат-биотит-кианитового кристаллосланца также содержат необычно высокие количества Li (51–118), V (212–651), Zn (237–273), Rb (210–824), Ba (471–8663 г/т). По сравнению с литературными данными [Леснов, 2007] в наших примерах биотиты и флогопиты содержат повышенные количества РЗЭ (7–64 г/т).

Несмотря на то что шпинели были отобраны преимущественно из ультрамафитов или из линз

карбонатитов в клинопироксенитах, содержания микроэлементов в них существенно различаются. Колебания содержаний V шпинелях находятся в пределах 4–346 г/т, Cr – 1.4–8093, Co – 59–188, Ni – 304–1464, Zn – 1071–2687, Zr – 5–10, Ba – 6–2242 г/т. Относительно высоки для этого минерала суммарные содержания РЗЭ (1.4–51.3 г/т).

Распределение микроэлементов во впервые проанализированных хётгомите, сапфирине подобно таковому в ассоциирующих с ними шпинелях. Необычно низкими оказались содержания РЗЭ в доломитах и кальцитах некоторых разновидностей карбонатитов (см. табл. 2, ан. 73, 74), а также в цирконе из клинопироксенитов (табл. 2, ан. 75). Последний в этом отношении резко уступает циркону из дунитов и габброидов Урала [Ферштатер и др., 2012].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные подтверждают общие закономерности в распределении микроэлементов в большинстве породообразующих минералов [Ефимов и др., 1989; Другова, Скублов, 2004; Скублов, 2005; Леснов, 2007]. Обращает на себя внимание очень большой разброс в содержаниях этих элементов внутри родственных видов минералов (амфиболов, гранатов, пироксенов, оливинов, эпидотов, шпинелей, слюд и др.). Эти колебания не зависят от типа щелочности вмещающих пород, их геологической природы. Впервые выявлена весьма существенная роль цоизита и клиноцоизита в концентрации элементов-примесей, в том числе РЗЭ. Не подтвердилась роль апатита как одного из глав-

ных минералов-концентраторов РЗЭ не только в основных и ультраосновных породах, но и в некоторых кальцит-доломитовых карбонатитах. Представленный аналитический материал дополняет и расширяет представления [Балашов, 1976; Интерпретация..., 2001; Григорьев, 2009] о распределении микроэлементов в горных породах и минералах Земли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аникина Е.В., Краснобаев А.А., Русин А.И., Бушарина С.В., Капитонов И.Н., Лохов К.И. (2012) Изотопно-геохимические характеристики циркона из дунитов, клинопироксенитов и габбро Платиноносного пояса Урала. *Докл. АН*, **436**(6), 711-715.
- Баженов А.Г., Баженова Л.Ф., Иванов Б.Н., Попов В.А. (1980) Состав редкоземельных элементов в гранатах из пород Ильменогорского комплекса. *Элементы-примеси в минералах и горных породах Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 65-66.
- Балашов Ю.А. (1976) Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 268 с.
- Банева Н.Н., Медведева Е.В., Русин А.И. (2009) Геохимические особенности ультрамафитов Ильменогорской сдвиговой зоны. *Ежегодник-2008*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 156, 115-119.
- Готтман И.А. (2014) Горнблендиты дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урала: петрология и генезис. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 142 с.
- Готтман И.А., Пушкарев Е.В. (2009) Геологические данные о магматической природе горнблендитов в габбро-амфиболитовых комплексах Урало-Аляскинского типа. *Литосфера*, (2), 78-86.
- Григорьев Н.А. (2009) Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 383 с.
- Другова Г.М., Скублов С.Г. (2004) Распределение редкоземельных элементов в гранатах, клинопироксенах, амфиболах и биотитах метаморфических пород. *Записки РМО*, (2), 47-58.
- Ерохин Ю.В., Вахрушева Н.В., Шагалов Е.С. (2007) Топазы из жилы "Южная" Адуйского пегматитового поля. *Минералогия Урала-2007*. Сб. науч. ст. Миасс; Екатеринбург: УрО РАН, 191-194.
- Ефимов А.А., Ефимова Л.А., Маегов В.И. (1989) Стронций в плагиоклазе уральских габбро: петрогенетический и прикладной аспекты. *Геохимия*, (1), 1541-1553.
- Зайков В.В., Таиров А.Д., Зайкова Е.В., Юминов А.М., Котляров В.А. (2016) Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Центральной Евразии. Челябинск: Каменный пояс, 320 с.
- Интерпретация геохимических данных. (2001) (Под ред. Е.В. Склярова). М.: Интермет Инжиниринг, 288 с.
- Колонин Г.Р., Широносова Г.П., Палесский С.В., Федорин М.А., Кандинов М.Н., Попова В.И., Репина С.А., Швецова И.В. (2007) Редкоземельные элементы монацитов Урала и модели физико-химических условий минералообразования. *Минералогия Урала-2007*. Сб. науч. ст. Миасс; Екатеринбург: УрО РАН, 246-249.
- Кориневский В.Г. (2008) Магматический эпидот из габбро. *Геология и геофизика*, **49**(3), 214-220.
- Кориневский В.Г., Баженова Л.Ф. (2004) Редкие земли в экзотических амфиболитах и кристаллосланцах Ильмен. *Уральский геол. журн.*, (6), 3-1.
- Кориневский В.Г., Баженова Л.Ф. (2008) Редкоземельные элементы в мафитах и ультрамафитах Ильменских гор. *Уральский минералог. сб.*, (15). Миасс; Екатеринбург: УрО РАН, 50-58.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. (2006) Новое в геологии, петрографии и минералогии Ильменских гор. Миасс: ИМин УрО РАН, 102 с.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. (2007) Ильмены: не только минералами едиными... *Уральский минералог. сб.*, (14). Миасс: ИМин УрО РАН, 153-211.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. (2013) Новые горные породы и минералы из Ильменских гор. *Уральская Минералогическая школа-2013*. Екатеринбург: УГГУ, 77-80.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. (2014а) Фрагменты пород основания земной коры в структуре Ильмено-Вишневогорского комплекса. *Уральский геол. журн.*, (1), 68-72.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. (2014б) Новое доказательство позднепалеозойского возраста кварцито-сланцевых толщ обрамления Ильменогорского комплекса (Южный Урал). *Докл. АН*, **455**(5), 553-555.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. (2015) Необычная форма включений пирротина в скаполитах магматических пород Южного Урала. *Записки РМО*, (6), 74-83.
- Косарев А.М. (2012) Геохимические особенности вулканитов Сакмарской и Вознесенско-Присакмарской зон, геодинамические реконструкции, колчеданное оруденение. *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий*. Уфа: ДизайнПресс, 148-151.
- Краснобаев А.А. (1986) Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 147 с.
- Леснов Ф.П. (2007) Редкоземельные элементы в ультрамафитовых и мафитовых породах и их минералах. Кн. 1. Новосибирск: Гео, 403 с.
- Леснов Ф.П., Балькин П.А., Палесский С.В. (2007) Распределение элементов-примесей в оливиновых габбро и слагающих их плагиоклазах и клинопироксенах из Кокпектинского дунит-троктолит-габбрового массива, Южный Урал (по данным метода LA ICP-MS). *Минералогия Урала-2007*. Сб. науч. ст. Миасс; Екатеринбург: УрО РАН, 86-90.
- Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П., Третьяков Г.А., Мелекесцева И.Ю., Сафина Н.П., Белогуб Е.В., Ларж Р.Р., Данюшевский Л.В., Целуйко А.С., Гладков А.Г., Крайнев Ю.Д. (2014) Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 340 с.
- Маслов А.В. (2005) Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 289 с.
- Маслов А.В. (2017) Доордовикские фосфориты и палеогеография: краткий геохимический экскурс в систематику редкоземельных элементов. *Литосфера*, (1), 5-30.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2005)

- Систематика редкоземельных элементов и модельный возраст Nd в аргиллитах венда западного склона Среднего Урала. *Докл. АН*, **401**(5), 668-672.
- Медведева Е.В. (2010) Распределение РЗЭ в гранатах метаморфических пород Ильменских гор. *Наука, природа и общество. Мат-лы Междунар. конф.* Мисс; Екатеринбург: УрО РАН, 37-39.
- Недосекова И.Л., Мурзин В.В. (2007) Типохимизм и эволюция состава карбонатов из карбонатитов Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Южный Урал). *Минералогия Урала-2007. Сб. науч. ст.* Мисс; Екатеринбург: УрО РАН, 49-54.
- Пушкарев Е.В., Ферштатер Г.Б. (1996) Геохимия РЗЭ как критерий принадлежности Восточно-Хабарнинского комплекса к гипербазит-габбровым ассоциациям платиноносного типа. *Ежегодник-1995.* Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 90-93.
- Решина С.А., Юзеева Н.С. (2005) Редкоземельные и стронциевые алюмофосфаты в хрусталеносных жилах месторождения Пирамида (Приполярный Урал). *Записки РМО*, (6), 103-110.
- Ронкин Ю.Л., Синдерн С., Крамм У., Лепихина О.П. (2008) Изотопная геология древнейших образований Урала: U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr и <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar систематика. *Структурно-вещественные комплексы и проблемы геодинамики докембрия фанерозойских орогенов.* Екатеринбург: УрО РАН, 117-120.
- Русин А.И., Вализер П.М., Краснобаев А.А., Банева Н.Н., Медведева Е.В., Дубинина Е.В. (2012) Природа гранат-анортит-клинопироксен-амфиболовых пород Ильменогорского комплекса (Южный Урал). *Литосфера*, (1), 91-109.
- Салихов Д.Н., Бабуров А.В. (1999) Редкоземельные элементы в ордовикских эффузивах Учалинского сегмента Вознесенско-Присакмарской меланжевой зоны. *Ежегодник-1997 ИГ УНЦ РАН.* Уфа: Дизайн-Пресс, 211-214.
- Семенов И.В., Коленко Л.И., Штенке А.А. (1980) РЗЭ в базальтах вулканогенных формаций Уральской эвгосинклинали. *Элементы-примеси в минералах и горных породах Урала.* Свердловск: УНЦ АН СССР, 36-64.
- Сначев А.В., Пучков В.Н., Савельев Д.Е., Сначев В.И. (2006) Геология Арамилско-Сухтелинской зоны Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 176 с.
- Соболев С.Ф. (1965) Редкоземельные элементы в ультраосновных и основных породах Урала. *Геохимия*, (4), 433-442.
- Скублов С.Г. (2005) Геохимия редкоземельных элементов в породообразующих метаморфических минералах. СПб.: Наука, 147 с.
- Удачин В.Н., Аминов П.Г., Филиппова К.А. (2014) Геохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 252 с.
- Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 368 с.
- Ферштатер Г.Б., Беа Ф. (1996) Геохимическая типизация уральских офиолитов. *Геохимия*, (3), 195-218.
- Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро М. П., Скэрроу Дж. (2004) Роговообманковые габбро Урала: типизация, геохимические особенности и петрогенезис. *Геохимия*, (7), 707-728.
- Ферштатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф., Монтеро П. (2012) Геохимия циркона из магматических и метаморфических пород Урала. *Литосфера*, (4), 13-29.
- Шатров В.А., Войцеховский Г.В. (2016) Реконструкция обстановок фосфатообразования (по данным распределения лантаноидов). *Геология и геофизика*, **50**(10), 1104-1118.
- Frei D., Liebscher A., Franz G., Dulski P. (2004) Trace element geochemistry of epidote minerals. *Rev. Mineral. Geochem.*, **56**(1), 553-605.
- Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. *Amer. Miner.*, **97**, 2031-2048.
- Locock A.J. (2014) An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Comput. Geosci.*, **62**, 1-11.
- Nedosekova I.L., Belousova E.A., Sharygin V.V., Belyatsky V.V., Baynova T.B. (2013) Origin and evolution of the Il'meny-Vishnevogorsky carbonatites (Urals, Russia): insights from trace-elements compositions, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb and Lu-Hf isotope data. *Mineral. Petrol.*, **107**, 101-123.
- Whitney D.L., Evans B.W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Amer. Miner.*, **95**, 185-187.

## REFERENCES

- Anikina E.V., Krasnobayev A.A., Rusin A.I., Busharina S.V., Kapitonov I.N., Lokhov K.I. Isotopic-geochemical characteristics of zircon from dunites, clinopyroxenites and gabbro of Platinum-bearing belt of the Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **436**(6), 711-715. (In Russian)
- Bazhenov A.G., Bazhenova L.F., Ivanov B.N., Popov V.A. (1980) Compositions of rare-earths elements in garnets from the rocks of the Il'menogorsky complex. *Elementy-primesi v mineralakh i gornykh porodakh Urala* [Trace elements in minerals and rocks of Ural Mountains]. Sverdlovsk, USC Akad. Nauk SSSR Publ., 65-66. (In Russian)
- Balashov Yu.A. (1976) *Geokhimiya redkozemel'nykh elementov* [Geochemistry of rare-earths elements]. Moscow, Nauka Publ., 268 p. (In Russian)
- Baneva N.N., Medvedeva E.V., Rusin A.I. (2009) Geochemical features of ultramafites of Il'menogorsk wrench fault zone. *Ezhegodnik-2008.* Tr. IGG UrO RAN. Vyp. 156, 115-119. (In Russian)
- Gottman I.A., Pushkarev E.V. (2009) Geological data about magmatic nature of hornblendites in the gabbro-amphibolite complexes of the Ural-Alyaska tipe. *Litosfera*, (2), 78-86. (In Russian)
- Grigor'ev N.A. (2009) *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verhnei chasti kontinentalnoi kory* [Distribution of chemical elements in the upper continental crust]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 383 p. (In Russian)
- Drugova G.M., Scublov S.G. (2004) Distribution of REE in garnets, clinopyroxenes, amphiboles and biotites of metamorphic rocks. *Zapiski RMO*, (2), 47-58. (In Russian)
- Efimov A.A., Efimova L.A., Maegov V.I. (1989) Strontium in plagioclase of Urals gabbro: paragenetic and applied aspect. *Geokhimiya*, (1), 1541-1553. (In Russian)
- Erokhin Yu.V., Vakhrusheva N.V., Shagalov E.S. (2007)

- Topazes from the vein "Southern" of the Aduisk pegmatite field. *Mineralogiya Urala-2007. Sb. nauch. st.* [Mineralogy of the Urals-2007. Collection of scientific articles]. Miass; Ekaterinburg, UB RAS, 191-194. (In Russian)
- Fershtater G.B. (2013) *Paleozoiskii intruzivnyi magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala* [Paleozoic magmatism of the Middle and South Urals]. Ekaterinburg, UB RAS, 368 p. (In Russian)
- Fershtater G.B., Bea F. (1996) Geochemical typification of the Urals ophiolites. *Geokhimiya*, (3), 195-218. (In Russian)
- Fershtater G.B., Bea F., Montero M.P., Scarrow J. (2004) Hornblende gabbro of the Urals: typification, geochemical features and petrogenesis. *Geokhimiya*, (7), 707-728. (in Russian)
- Fershtater G.B., Krasnobaev A.A., Bea F., Montero P. (2012) Geochemistry of zircon from the igneous and metamorphic rocks of the Urals. *Litosfera*, (4), 13-29. (In Russian)
- Frei D., Liebscher A., Franz G., Dulski P. (2004) Trace element geochemistry of epidote minerals. *Rev. Mineral. Geochem.*, **56**(1), 553-605.
- Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., and Welch M.D. (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. *Amer. Miner.*, **97**, 2031-2048.
- Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh.* (2001) (Ed. E.V. Sklyarov) [The interpretation of geochemical data (Ed. E.V. Sklyarov)]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 288 p. (In Russian)
- Kolonin G.R., Shironosova G.P., Palesskii S.V., Fedorin M.A., Kandinov M.N., Popova V.I., Repina S.A., Shvetsova I.V. (2007) Rare-earth elements of the monazites of the Urals and models of physicochemical conditions of mineral formation. *Mineralogiya Urala-2007. Sb. nauch. st.* [Mineralogy of the Urals-2007. Collection of scientific articles]. Miass; Ekaterinburg, UB RAS, 246-249. (In Russian)
- Korinevsky V.G. (2008) Magmatic epidote from gabbro. *Geologiya i geofizika*, **49**(3), 214-220. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Bazhenova L.F. (2004) Rare-earth elements in exotic amphibolites and crystalline shists of the Il'meny. *Ural'skii geologicheskii zhurnal*, (6), 3-17. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Bazhenova L.F. (2008) Rare-earth elements in mafic and ultramafic rocks of the Il'meny Mountains. *Ural'skii mineralogicheskii sbornik*, (15). Miass; Ekaterinburg, IMin UB RAS, 50-58. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Korinevsky E.V. (2006) *Novoe v geologii, petrografii i mineralogii Il'menskikh gor* [The new in geology, petrography and mineralogy of the Il'meny Mountains]. Miass, IMin UB RAS, 102 p. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Korinevsky E.V. (2007) Il'meny: not only minerals... *Ural'skii mineralogicheskii sbornik*, (14). Miass, IMin UB RAS, 153-211. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Korinevsky E.V. (2013) New rocks and mineral from Ilmeny Mountains. *Ural'skaya mineralogicheskaya shkola-2013* [Uralian mineralogical school-2013]. Ekaterinburg, UGGU Publ., 77-80. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Korinevsky E.V. (2014a) Fragments of rocks of the bottom of earth's crust in the structure of the Il'meny-Vishnevogorsk complex. *Ural'skii geologicheskii zhurnal*, (1), 68-72. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Korinevsky E.V. (2014b) New evidence of Late Paleozoic age of quartzite-shists suites of the Il'menogorsky complex (South Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **455**(5), 553-555. (In Russian)
- Korinevsky V.G., Korinevsky E.V. (2015) Unusual form of pyrrhotite inclusions in scapolite of magmatic rocks of the South Urals. *Zapiski RMO*, (6), 74-83. (In Russian)
- Kosarev A.M. (2012) Geochemical features of volcanic rocks of the Sakmarskoy and Voznesensko-Prisakmarskoy zones, geodynamic reconstructions, massive sulfide mineralization. *Geologiya, mineraly i problemy geologii Bashkortostana, Urala i prilegayushchikh territorii* [Geology, minerals and geo-ecology problems of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories]. Ufa, DizaynPress Publ., 148-151. (In Russian)
- Krasnobaev A.A. (1986) *Tsirkon kak indikator geologicheskikh protsessov* [Zircon as indicator of geological processes]. Moscow, Nauka Publ., 147 p. (In Russian)
- Lesnov F.P. (2007) *Redkozemel'nye elementy v ultramafitovykh i mafitovykh porodakh i ikh mineralakh* [Rare-earth elements in ultramafic and mafic rocks and their minerals. The book 1]. Novosibirsk, Geo Publ., 403 p. (In Russian)
- Lesnov F.P., Balykin P.A., Palesskii S.V. (2007) Distribution of trace-elements in olivine gabbros and their constituent plagioclases and clinopyroxenes from the Kokpektinski dunite-troctolite-gabbro massif, the Southern Urals (according to the method of LA ICP-MS). *Mineralogiya Urala-2007. Sb. nauch. st.* [Mineralogy of the Urals-2007. Collection of scientific articles]. Miass; Ekaterinburg, UB RAS, 86-90. (In Russian)
- Locock A.J. (2014) An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Comput. Geosci.*, **62**, 1-11.
- Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P., Tretyakov G.A., Melekestseva I.Yu., Safina N.P., Belogub E.V., Large R.R., Danyushevsky L.V., Tseluiko A.S., Gladkov A.G., Krainev Yu.D. (2014). *Toksicheskie elementy v kolchedanoobrazuyushchikh sistemakh* [Toxic elements in massive sulfide systems]. Ekaterinburg, RIO UB RAS, 340 p. (In Russian)
- Maslov A.V. (2005) *Osadochnye porody: metody izucheniya i interpretatsii poluchennykh dannykh* [Sediment rocks: methods of study and interpretation of received data]. Ekaterinburg, UGGU Publ., 289 p. (In Russian)
- Maslov A.V. (2017) The Preordovician phosphorites and paleogeography: a short geochemical excursus into the systematics of rare earth elements. *Litosfera*, (1), 5-30. (In Russian)
- Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Petrov G.A., Kornilova A.Yu., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2005) Systematics of rare earth elements and Nd model age in mudstones of the Vendian of the Western slope of the Middle Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **401**(5), 668-672. (In Russian)
- Medvedeva E.V. (2010) REE distribution in garnets of metamorphic rocks of the Il'meny Mountains. *Nauka, priroda i obshchestvo. Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii* [Science, Nature and Society. Collection of Internat. Conf.]. Miass; Ekaterinburg, UB RAS, 37-39. (In Russian)
- Nedosekova I.L., Murzin V.V. (2007) Typochemical

- and evolutionary composition of carbonates from carbonatites of the Ilmeno-Vishnevogorsk alkaline complex (South Urals). *Mineralogiya Urala-2007. Sb. nauch. st.* [Mineralogy of the Urals-2007. Collection of scientific articles]. Miass; Ekaterinburg, UB RAS, 49-54. (In Russian)
- Nedosekova I.L., Belousova E.A., Sharygin V.V., Belyatskii B.V., Baynova T.B. (2013) Origin and evolution of the Il'meno-Vishnevogorsk carbonatites (Urals, Russia): insights from trace-elements compositions, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb and Lu-Hf isotope data. *Miner. Petrol.*, **107**, 101-123.
- Pushkarev E.V., Fershtater G.B. (1996) Geochemistry of the REE as a criterion for belonging to the East-Khabarninskii complex to the hyperbasite-gabbro associations of the platinum-bearing type. *Ezhegodnik-1995*. Ekaterinburg, IGG UB RAS, 90-93. (In Russian)
- Repina S.A., Yuzeeva N.S. (2005) Rare earth and strontium alumophosphate in crystal-containing veins of deposits of the Pyramid (the Subpolar Urals). *Zapiski RMO*, (6), 103-110. (In Russian)
- Ronkin Yu.L., Sindern S., Kramm U., Lepikhina O.P. (2008) Isotope geology of the oldest formations of the Urals: U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  systematics. *Strukturno-veshchestvennye komplekсы i problemy dokembriiskoi geodinamiki fanerozoiskikh orogenov* [Structural real complexes and geodynamic problems of the Precambrian Phanerozoic orogens]. Ekaterinburg, UB RAS, 117-120. (In Russian)
- Rusin A.I., Valizer P.M., Krasnobaev A.A., Baneva N.N., Medvedeva E.V., Dubinina E.V. (2012) Nature of the garnet-anorthite-clinopyroxene-amphibole rocks of the Il'menogorsk complex (South Urals). *Litosfera*, (1), 91-109. (In Russian)
- Salikhov D.N., Baburov A.V. (1999) Rare earth elements in the Ordovician effusives of the Uchalinsky segment of the Voznesensko-Prisakmarskoy melange zone. *Ezhegodnik-1997 of IG USC RAS*. Ufa, 211-214. (In Russian)
- Scublov S.G. (2005) *Geokhimiya redkozemel'nykh elementov v porodoobrazuyushchikh metamorficheskikh mineralakh* [Geochemistry of rare-earths elements in rock-forming metamorphic minerals]. St.Petersburg, Nauka Publ., 147 p. (In Russian)
- Shatrov V.A., Voitsekhovskii G.V. (2009) Reconstruction of the environments of phosphate-generation (according to the distribution of the lanthanoides). *Geologiya i Geofizika*, **50**(10), 1104-1118. (In Russian)
- Semenov I.V., Kolenko L.I., Shtenke A.A. (1980) REE in the basalts of volcanogenic formations of the Ural eugeosyncline). *Elementy-primesi v mineralakh i gornyykh porodakh Urala* [Elements-impurities in minerals and rocks of the Urals]. Sverdlovsk: USC AN SSSR, 36-64. (In Russian)
- Snachev A.V., Puchkov V.N., Savel'ev D.E., Snachev V.I. (2006) *Geologiya Aramil'sko-Sukhtelinskoi zony Urala* [Geology of the Aramil'sko-Sukhtelinskoy zone of the Urals]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 176 p. (In Russian)
- Sobolev S.F. (1965) Rare-earth elements in ultrabasic and basic rocks of the Urals. *Geokhimiya*, (4), 433-442. (In Russian)
- Udachin V.N., Aminov P.G., Filippova K.A. (2014) *Geokhimiya gornopromyshlennogo tekhnogeneza Yuzhnogo Urala* [Geochemistry of mining-industrial technogenesis of the South Urals]. Ekaterinburg, RIO UB RAS, 252 p. (In Russian)
- Whitney D.L., Evans B.W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Amer. Miner.*, **95**, 185-187.
- Zaikov V.V., Tairov A.D., Zaikova E.V., Yuminov A.M., Kotlyarov V.A. (2016) *Blagorodnye metally v rudakh i drevnikh zolotykh izdeliyakh Tsentralnoi Evrazii* [Precious metals in ores and ancient gold products of Central Eurasia]. Chelyabinsk, Kamennyi poyas Publ., 320 p. (In Russian)